



M 2014

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AGLOMERADOS DE CORTIÇA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

JOÃO FILIPE GONÇALVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM MARÇO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

Agradecimentos

Ao professor Carlos Fonseca, pela disponibilidade e apoio dado para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Pedro Pardinhas e todos os colaboradores da empresa Dinis Oliveira e Filhos (DOFcork), pela oportunidade de desenvolver este trabalho nesta área e por todo o apoio dado.

Ao professor Rui Calejo e ao Engenheiro Pedro Rodrigues dos Núcleos de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Acústica (NI&DEA) do Departamento de Engenharia Civil da FEUP, com orientação e apoio imprescindíveis nos conteúdos da acústica fulcrais nesta Dissertação.

À minha família, à Filipa e a todos os meus amigos pelo apoio dado durante todos estes anos de percurso académico.

Resumo

A cortiça tem vindo gradualmente a estender o seu número de aplicações na indústria dos materiais de isolamento acústico e térmico, para além das mais famosas aplicações como rolhas ou suportes anti-vibráticos. Sendo que existe uma grande variedade de produtos já usados no isolamento no setor da construção, é de grande importância conhecer melhor tanto os produtos derivados da cortiça como os produtos concorrentes dedicados ao isolamento térmico e acústico.

O objetivo deste trabalho é conhecer melhor os produtos da empresa DOFcork, os aglomerados de cortiça, de modo a posicioná-los de entre os vários produtos com aplicação no isolamento sonoro e térmico.

Desta forma, o passo inicial deste trabalho foi pesquisar sobre os principais produtos de isolamento, tanto os aglomerados de cortiça, como os poliestirenos expandidos e extrudidos, lãs de rocha e de vidro, e ainda compostos de betão com poliestireno e betão autoclavado, sendo estes os principais dominadores no mercado de produtos isolantes térmicos e acústicos.

Com a necessidade de se conhecer melhor os aglomerados de cortiça da empresa, procedeu-se a ensaios de isolamento acústico a sons aéreos e sons de percussão, assim como medir a sua massa volúmica aparente e teor de absorção de humidade, sendo que as propriedades acústicas serão onde os aglomerados de cortiça poderão ter mais vantagem em relação aos concorrentes.

Com esses ensaios foi permitido conhecer o índice de isolamento sonoro e o índice de redução sonora de alguns dos aglomerados da empresa DOFcork, o que permitiu fazer uma comparação mais real com outros produtos e permitindo conhecer melhor as propriedades dos aglomerados neste tipo de aplicações.

PALAVRAS-CHAVE: Aglomerados de Cortiça, Acústica, Isolamento Sonoro

Abstract

Cork has been gradually extending its range of applications in the industry of acoustic and thermal insulation materials, in addition to the most famous applications like cork stoppers or anti-vibration supports. Since there are a wide variety of products already used in insulation in the construction sector, is of great importance to know better both derivatives of cork as well as competing products dedicated to thermal and acoustic insulation.

The objective of this work is to better understand the company's products DOFcork, agglomerated cork, so as to position them between the various products with application in heat and sound insulation.

Thus, the initial step of this work was to investigate the main insulation products, both cork agglomerates, such as extruded and expanded polystyrene, rock wool and glass wool, and also compounds of concrete with polystyrene and aerated concrete, these being the main market dominators in thermal and acoustic insulation products .

With the need to better understand the cork agglomerates of the company, it was proceeded to test the airborne sound insulation and the impact sound insulation, as well as apparent specific mass and the moisture absorption content, where the two acoustic properties may have more advantage over competitors of the agglomerated cork.

With these trials was allowed to know the index of sound insulation and sound reduction index of some of the products of DOFcork company, allowing it to make a more realistic comparison with other products and enabling better understand the properties of the agglomerates in this type of applications.

Key-Words: Agglomerated cork, Acoustics, Sound Insulation

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento da tese	1
1.2. Cortiça	3
1.3. Produtos concorrentes	8
1.3.1. Polistireno Expandido e Polistireno Extrudido	9
1.3.2. Lã de Rocha	10
1.3.3. Lã de Vidro	10
1.3.4. Betão com EPS	11
1.3.5. Betão celular autoclavado	11
2. Noções gerais de acústica e térmica	13
2.1 Ensaaios Acústicos	15
2.1.1. Isolamento sonoro a sons de percussão	15
2.1.2. Isolamento sonoro a sons de condução aérea	17
2.2 Propriedades Térmicas	18
2.3. Síntese bibliográfica das propriedades da cortiça e concorrentes	19
3. Materiais e métodos	22
3.1. Aglomerados DOFcork	22
3.2. Ensaaios de isolamento a sons de percussão	25
3.3. Ensaaios de isolamento a sons de condução aérea	27
3.4. Determinação da massa volúmica aparente	31
3.5. Teor de absorção de humidade	32
4. Resultados e Discussão	34
4.1. Ensaaios de isolamento a sons de percussão	34
4.2. Ensaaios de isolamento a sons de condução aérea	38
4.3. Determinação da massa volúmica aparente	40
4.4. Teor de absorção de humidade	41
5. Conclusões	42
5.1. Desenvolvimentos futuros	43
6. Referências bibliográficas	44

1

Introdução

1.1. Enquadramento da tese

A cortiça e os seus aglomerados são produtos importantes na economia de exportação de Portugal, principalmente na atual situação económica do país e da zona Euro, com quebras de consumo acentuadas. O crescente investimento na indústria na última década, com novos produtos e novas aplicações, colocaram o setor da cortiça noutra patamar de exposição internacional. A fiabilidade e o fato de ser um produto versátil e natural contribuíram bastante nessa tendência de crescimento do setor.

Portugal é o maior produtor mundial de cortiça, em que a área de montados representa um terço da área total de montados em todo o mundo. É responsável pela produção de cerca de 50% da cortiça mundial, a rondar as 100 mil toneladas de cortiça anualmente. O setor fez 804,7 milhões de euros em 2011 em exportações, sendo o país do mundo que mais exporta cortiça (62% do total de cortiça exportada), sendo este valor correspondente a quase 170 mil toneladas de produtos de cortiça exportados.

O reaproveitamento de resíduos industriais tem sido um objetivo geral de todos os setores produtivos, e o setor corticeiro é um dos que tem feito mais esforços para reutilizar os resíduos resultantes da sua indústria, direcionando-os para novas aplicações acústicas e térmicas na área dos produtos de construção. Calcula-se que cerca de 20 a 30% da matéria-prima recebida nas unidades de transformação de cortiça é rejeitada, como pó ou granulado, sendo necessário reaproveitar estes desperdícios para outras aplicações com maior interesse industrial. Em 2009, foram recicladas e reaproveitadas mais de 22 mil e 500 toneladas de cortiça, procurando possíveis aplicações dos mesmos resíduos no setor da construção civil [1,2].

Ao longo dos últimos anos, o âmbito da utilização da cortiça tem-se vindo a alargar como material de construção, através da melhoria do desempenho e qualidade de produtos já existentes, bem como materiais que incorporem a cortiça na sua composição. No entanto, até à atualidade, a cortiça e os seus aglomerados tem-se limitado aos campos do isolamento térmico e acústico [2].

Com este trabalho de dissertação pretende-se posicionar os aglomerados de cortiça em termos de desempenho acústico e térmico em relação a outros produtos com mais utilização e divulgação na área dos isolamentos. Servirá também para analisar de que modo os aglomerados de cortiça se inserem na comercialização de produtos de isolamento, sobre quais leva vantagem e sobre os quais perde interesse na sua aplicação.

Os objetivos iniciais deste trabalho de dissertação são estudar os produtos da empresa DOFcork e comparar as suas características com os produtos concorrentes, nomeadamente nas aplicações de isolamento térmico e acústico, onde os aglomerados de cortiça da empresa são mais utilizados. O objetivo surgiu na vontade da empresa obter mais informações sobre os seus próprios produtos em propriedades mais específicas, que seriam fortes pontos de comparação com outros produtos concorrentes em termos de isolamento térmico e acústico.

A DOFcork (Dinis de Oliveira & Filhos, S.A.) nasceu em 1987 como uma empresa especializada em transformação de cortiça. Situada em Argoncilhe, atualmente oferece produtos aglomerados de cortiça para os setores da construção e indústria, como isolamento térmico e acústico e revestimento de interiores [3].

Nestes setores da indústria, existem outros produtos no mercado para o isolamento, tanto o acústico como o térmico. Com o desenvolvimento nos últimos anos de produtos como a lã de rocha e lã de vidro, tornou-se essencial para a empresa ter conhecimento sobre as propriedades dos seus materiais e dos materiais concorrentes, para se orientar melhor no mercado, valorizando as melhores propriedades dos seus materiais.

Os objetivos prendem-se em evidenciar características dos materiais da empresa DOFcork, procurando aplicações onde possam ter vantagem sobre os produtos concorrentes, ou indicar novas formulações dos atuais produtos que permitam valorizar os mesmos, traduzindo-se na valorização da própria empresa.

Esta dissertação organiza-se por 5 capítulos, sendo o primeiro capítulo uma descrição da matéria-prima, a cortiça, a sua indústria e os concorrentes do mesmo, no que toca à área dos isolamentos, assim como os objetivos deste trabalho. No segundo capítulo, faz-se uma breve abordagem à acústica e à térmica, com noções básicas do necessário para a total compreensão de elementos usados no decorrer deste trabalho de dissertação, com principal importância para os ensaios a desenvolver durante o trabalho, juntamente com a síntese bibliográfica da pesquisa elaborada sobre as propriedades dos aglomerados de cortiça e produtos concorrentes. O terceiro capítulo aborda os materiais da empresa DOFcork e os

princípios metodológicos dos ensaios acústicos executados. No quarto capítulo apresentam-se os resultados dos ensaios executados e a sua discussão. No quinto capítulo apresentam-se as conclusões finais de todo o trabalho, assim como alguns desenvolvimentos futuros.

1.2. Cortiça

A cortiça é um material natural, constituinte da parte exterior da árvore do sobreiro (*Quercus suber L.*), tanto no tronco como nos ramos. É um material produzido principalmente por países do Mediterrâneo e Sul da Europa, sendo que Portugal produz cerca de 50% da cortiça mundial, o equivalente a cerca de 190.000 toneladas anuais, e é responsável por uma quota de 62% das exportações de cortiça no mundo. Assume o terceiro posto no que se refere a importação de cortiça, para transformação e posterior exportação de produtos de cortiça [1,2].

A cortiça é aplicada como material flutuante e como vedante desde os inícios do século XX, tendo uma expansão nas suas aplicações com o desenvolvimentos dos aglomerados de cortiça. É um material leve, com um elevado nível de elasticidade e impermeabilidade a líquidos e gases, isolante térmico e eléctrico, com boa capacidade de absorção vibrática e acústica, capaz de ser comprimido sem expansão lateral [4].

A cortiça é obtida a partir do sobreiro, árvore *quercínea* de folha persistente, membro da ordem *Fagales* e da família *Fagaceae* [5]. O sobreiro é uma árvore de porte médio, com uma altura média de 15 a 20 metros. Poderá atingir entre 200 e 300 anos de longevidade, devido ao crescimento lento, embora para produção de cortiça só tenha utilidade até uma idade limite de 200 anos. A cortiça actua como protector da árvore, como acontece noutras árvores, evitando evaporação rápida e a degradação da árvore. As características excepcionais da sua camada protectora fazem do sobreiro a única espécie florestal do mundo capaz de produzir cortiça para utilizações industriais. A floresta de sobreiros, denominado montado, encontra-se bem adaptada ao clima mediterrâneo, da Península Ibérica e da Sicília, onde encontra as condições mais favoráveis ao seu crescimento, a presença de muita luz, pouca humidade e capacidade de desenvolvimento em solos pobres [2].

A extracção da cortiça não poderá deixar a árvore totalmente desprotegida do seu revestimento suberoso, sendo que a extracção é um processo quase totalmente manual, com o auxilio de machados, e acontece pela primeira vez apenas quando o sobreiro tem entre 20 a 25 anos de idade. Cada tronco terá de atingir um perímetro de cerca de 70 cm quando medido a 1,30 m do solo. A partir daí, a sua exploração durará em média 150 anos, o equivalente a cerca de 15 descortiçamentos.

O descortiçamento (processo de extracção da casca aos sobreiros) realiza-se na fase mais ativa do crescimento da cortiça, entre fins de Maio e princípios de Junho, até ao fim de Agosto sensivelmente, dependendo esse período de factores climatéricos (temperatura, humidade), e se fizer vento ou chover, não se consegue extrair a cortiça da árvore. No primeiro descortiçamento, denominada desbóia, obtém-se uma cortiça com estrutura irregular e com dureza que a torna difícil de trabalhar, não apresentando a qualidade necessária para a criação de rolhas, sendo utilizada em pavimentos ou isolamento. Somente nove anos após o primeiro descortiçamento haverá lugar a um segundo descortiçamento, obtendo-se uma cortiça com estrutura mais regular e com menor dureza, denomina-se cortiça secundeira, mas ainda impróprio para o fabrico de rolhas. Apenas no terceiro descortiçamento, aos 45 anos de idade árvore aproximadamente, se obtém cortiça com estrutura regular com qualidade suficiente para a produção de rolhas. É designada cortiça amadia ou de reprodução, e a partir desta altura, de nove em nove anos, o sobreiro fornecerá cortiça com boa qualidade durante século e meio [4].

A cortiça é constituída por células ocas, com um certo grau de impermeabilização e de forma regular (poliedros de 14 faces), com elevada organização na estrutura, que lhe confere homogeneidade e leveza. Com a sua estrutura multicelular advém o grande poder de recuperação, contem no interior das células uma mistura gasosa similar ao ar, sendo que esta mistura gasosa representa aproximadamente 88% do volume do material, proporcionando uma densidade bastante reduzida, entre os 0,12 e os 0,19 g/cm³ [2,4].

A composição química global da cortiça é complexa e, até hoje, não é possível saber com exactidão a sua composição, sendo que quimicamente, a cortiça é constituída por vários compostos, divididos em cinco grupos, estimando-se os valores da composição como os seguintes: suberina (45%), lenhina (27%), polissacáridos (12%), taninos (6%) e ceróides (6%) [4].

A suberina é um bipolímero de carácter lipídico e é hidrófobo, insolúvel nos solventes orgânicos usuais, sendo responsável pela baixa permeabilidade da cortiça, e sendo o principal componente das paredes celulares, não é possível removê-la sem destruir a forma natural de forma irreversível. [4,5].

A lenhina é também um polímero com estrutura entrecruzada, com carácter aromático, com elevado peso molecular, que representa o segundo componente estrutural mais importante da cortiça, que confere rigidez à parede celular [6].

Os polissacáridos são constituídos por celulose e hemicelulose, estando igualmente repartidas as proporções de cada um (50%). Conferem também funções mecânicas à estrutura, como maior flexibilidade e deformabilidade.

Os taninos são compostos fenólicos em forma polimerizada, divididos em dois grupos: taninos hidrolisáveis e condensados.

Os ceróides são constituídos por alcanos, alcanóis e triterpenóides. Encontram-se de forma livre na estrutura das paredes das células, contribuindo para impermeabilização destas membranas, assim como a suberina.

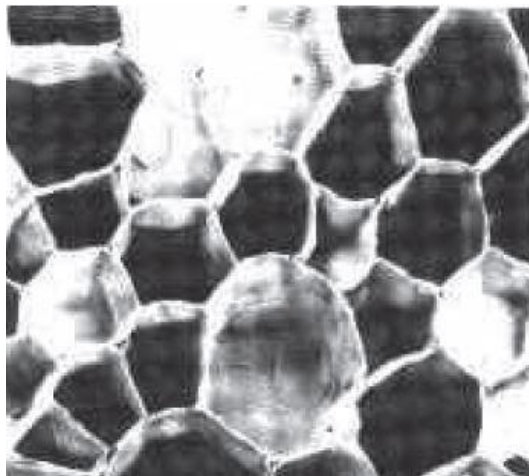


Figura 1 - Estrutura da cortiça [4]

A combinação de todos estes compostos conferem à cortiça propriedades bastante especiais, como são as seguintes: baixa densidade e baixa resistência à deformação, baixo coeficiente de Poisson, grande capacidade de absorção de energia de impacto; a capacidade de dissipação de energia proveniente de vibrações também é elevada, assim como o seu coeficiente de atrito; baixa condutividade térmica, boa inércia química e baixa absorção de água e outros líquidos, boa resistência ao fogo e ao ataque de insectos [5].

A produção de aglomerados de cortiça tem sido um componente importante dentro da total produção de cortiça, pois aproveita grande parte dos resíduos dos processos de transformação da cortiça natural, como a produção de rolhas, assim como aproveita produtos de cortiça rejeitados e cortiça virgem. A cortiça usada nestes aglomerados tem diferenças de composição, levando a diferenças no nível da pureza e das propriedades, exigindo uma distinta linha de produção para estes compostos.

A produção destes aglomerados começa na trituração dos pedaços de cortiça para granulados, dividindo-os em dimensões diferentes e/ou densidades diferentes. Posteriormente, estes granulados são misturados com resinas aglomerantes, caso seja para fazer placas de cortiça expandida, ou poderá ser comercializado como granulado de cortiça, sendo agrupados segundo o seu tamanho de grão. Essa granulação da cortiça dará origem a tamanhos de grão variado, entre os 10 mm e os 0,5 mm, sendo separados em várias gamas de diâmetro de grão.

Existem vários tipos de aglomerados de cortiça, sendo os principais tipos: aglomerados de cortiça expandida com aglomerante de resina, principalmente usados em alguns tipos de rolha e para utilização em superfícies, como chão ou parede, tanto interiormente ou exteriormente a essas superfícies; aglomerados de cortiça expandida sem aglomerante de

resina, apenas utilizando pressão e temperatura para aglomerar os grânulos de cortiça, para utilizações similares aos aglomerados com aglomerante; compostos de cortiça e outro material, como borracha ou cimento, juntando os granulados de cortiça com o outro material, de modo a conferir propriedades térmicas e/ou acústicas melhoradas a esses materiais.

Para o fabrico de placas de cortiça expandida com aglomerante, primeiramente a seguir à granulação da cortiça, os grãos de cortiça, previamente separados em gamas de densidade e dimensão, são secos usando ar quente incorporado no processo, para reduzir a percentagem de humidade associada ao aprovisionamento dos materiais. Pequenos detritos residuais não desejados são removidos, e outros grãos que possam ter dimensão superior à desejada para o fabrico, são também retirados e novamente triturados para tamanho de grão inferior.

Posteriormente a esta secção do processo é adicionado o aglomerante, que necessitará de um tempo e de uma temperatura de cura, variando de aglomerante para aglomerante. Normalmente a quantidade de aglomerante constitui cerca de 3 a 8% do total de granulado de cortiça, sendo que a temperatura de cura pode variar entre 100° C e 150° C, e o tempo poderá variar entre 20h a 1h apenas. A escolha do aglomerante, a compressão durante o processo de aglomeração e o tipo de grão de cortiça pode depender da aplicação, pois interfere na densidade do produto. As rolhas e outros aglomerados para isolamento e componentes anti-vibráticos possuem uma densidade entre 200 e 300 kg/m³, enquanto os aglomerados para superfícies poderão ter acima de 500 kg/m³ [7].

Os aglomerados de cortiça expandida sem um composto aglomerante são produtos em que os grânulos de cortiça se unem através de pressão e temperatura, sem o auxílio de um composto externo. Essa adesão é obtida graças à formação de compostos químicos provenientes da degradação química dos agentes extractivos (taninos e ceróides) e dos componentes estruturais da cortiça. Este aglomerado é normalmente denominado por aglomerado negro devido ao aspeto escuro do mesmo, devido à temperatura empregue no processo de aglomeração. Para o fabrico deste tipo de aglomerado, os grãos de cortiça usados são de maiores dimensões, em comparação com os grãos usados para os compostos com aglomerante, entre 4 e 22 mm. Os aglomerados negros são produzidos em blocos num autoclave, através de um vapor que aquece os grãos a temperaturas próximas dos 300° C, sob pressão de cerca de 40 kPa durante 20 minutos, aproximadamente. Este processo vai levar à compactação do material, que garante a união entre os grânulos da cortiça, o suficiente para atingir a densidade e a resistência pretendida para o aglomerado [7].

A temperatura altera as propriedades físicas e químicas da cortiça, sendo que essa degradação das propriedades aumenta a partir dos 200° C. Com o processo a decorrer a temperaturas de 300° C, a cortiça sofre uma grande alteração química e física, perdendo cerca de 25 a 30% da sua massa através da volatilização dos extractivos e da degradação de componentes estruturais. A suberina e lenhina são os componentes termicamente mais estáveis, sendo que os polissacáridos e os extractivos são os que mais se degradam com o

processo de aglomeração. Na composição dos aglomerados os extractivos representam cerca de 11% da composição e os polissacáridos pouco mais de 9%, sendo que na cortiça original antes da aglomeração representam 15% e 20%, respectivamente [7].

Com o aquecimento durante o processo de aglomeração, as células da estrutura da cortiça expandem, com a diminuição da espessura das paredes da mesma. Também acontece que as células perdem a sua uniformidade de forma, adquirindo uma forma mais arredondada, mas isto não acontece uniformemente em toda a estrutura. O volume das células aumenta em cerca de 100%, sendo uma das razões para estes aglomerados se chamarem aglomerados expandidos. As células são capazes de absorver uma grande energia de compressão, sem colapsar a estrutura. A união entre grânulos pode ser tão eficaz que poderá não ser distinguir, através da observação microscópica, células de diferentes grãos na linha de união [7].

Estes aglomerados têm uma aplicação vasta, sendo mais usados em isolamentos acústicos e térmicos e absorção de vibrações, sendo que a sua densidade aumenta respectivamente para as aplicações referidas (80-100 kg/m³ para isolamentos acústicos, 100-150 kg/m³ para isolamentos térmicos e 175-320 kg/m³ para absorção de vibrações). A propriedade mais importante nestes aglomerados em relação a outros aglomerados de cortiça é a sua durabilidade, devido à inércia biológica e baixa absorção de água, sendo capazes de continuar em boas condições ao fim de 50 ou mais anos [7].

Existem outros aglomerados de cortiça obtidos através da mistura dos grânulos de cortiça com outros materiais, sendo os mais usados a borracha e o cimento. O objetivo destas misturas é melhorar algumas propriedades do material-base através das propriedades mais vantajosas da cortiça. No caso do aglomerado com borracha, a recuperação à compressão da cortiça compensa a fraca recuperação da borracha, face a essas forças compressivas. A cortiça também ajuda a garantir estabilidade química, visto que a borracha é mais facilmente degradado que a cortiça, sendo que a borracha contribui com a maior resistência e estabilidade dimensional. Estes aglomerados são obtidos através de processos similares ao fabrico da borracha, através de reacções químicas com ligações cruzadas. São utilizados grânulos mais finos de borracha e cortiça, sendo posteriormente misturados com catalisantes e agentes químicos que favoreçam o cross-link, assim como outros aditivos anti-oxidantes e corantes. A mistura é homogeneizada e injectada ou compressa num molde, antes de começar a polimerização, que se concretiza com a indução de temperatura. Estes aglomerados são utilizados para aplicações tecnológicas mais exigentes, a nível de vedantes de líquidos e óleos para indústria automóvel, isolamentos acústicos e vibráticos para equipamentos industriais, carris de caminhos-de-ferro e em superfícies de grandes dimensões com maiores exigências em isolamento térmico e acústico. É possível mudar significativamente a composição do aglomerado, dependendo da quantidade de borracha e cortiça envolvida, dependendo essa proporção para cada aplicação, mantendo as suas principais propriedades, a resistência a degradação química, resistência à compressão

durante grandes períodos de tempo, alta absorção de vibrações e choque e resistência à abrasão [7].

Nos últimos anos, um dos aglomerados de cortiça com utilização crescente são os aglomerados de cortiça com cimento. Os granulados de cortiça são introduzidos juntamente com o cimento, como substituto da areia ou pedra normalmente utilizadas. Existem vários objetivos com a introdução da cortiça no cimento, sendo os principais a diminuição do peso, o que se traduzirá numa redução das tensões sobre as estruturas, no caso de ser utilizado na indústria da construção, assim como uma redução dos custos totais da obra. Também se pretende melhorar propriedades térmicas e acústicas com a adição de cortiça, embora se traduza numa diminuição das propriedades mecânicas. A baixa densidade e o elevado volume de gases contidos na estrutura oca da cortiça contribuem para a diminuição da condutividade térmica do cimento. É também sabido que a utilização de cortiça reduz a emissão de CO₂ associado ao fabrico de betão, mas afecta o processo de hidratação do cimento [8].

1.3. Produtos concorrentes

Sendo um dos objetivos desta dissertação situar os aglomerados de cortiça em termos económicos em comparação com outros materiais concorrentes, é necessário saber quais os materiais capazes de concorrer directamente com os aglomerados de cortiça, atendendo a várias propriedades, com especial atenção nas principais propriedades dos aglomerados de cortiça: propriedades térmicas e acústicas.

Os principais concorrentes dos aglomerados de cortiça expandida (cortiPAN e corkROLL [3]) elaborados pela empresa DOFcork são os aglomerados negros (de cortiça também), os polistirenos expandido (EPS) e extrudido (XPS), assim como as lãs de rocha e de vidro. No caso dos aglomerados de cortiça e betão (corkGRAN [3]) elaborados pela empresa anteriormente referida, os produtos concorrentes serão compostos de betão e polistireno (EPS), o betão comum e o betão celular (aerated concrete).

1.3.1. Polistireno Expandido e Poliestireno Extrudido

O polistireno é um material polimérico frágil na sua estrutura inicial, devido à presença de anéis fenílicos. É mais usado na forma de copolímero, para melhorar as suas propriedades mecânicas, e geralmente surge associado a outros materiais [9]. O polistireno expandido (EPS) é um polímero com uma estrutura celular rígida, que surge de uma série de procedimentos que começam na adição de um agente expensor ao polistireno anteriormente referido. Esse material é então aquecido entre 80° C e 100° C, fazendo o material expandir e diminuir significativamente a sua densidade, para valores entre 10 e 35 kg/m³. Há então um passo posterior de arrefecimento do material, onde este aumenta a sua elasticidade e melhora a capacidade de expansão da sua estrutura. No último passo, o material é colocado em moldes e é injectado vapor, o que faz o material expandir e adquirir o formato final desejado [10]. O polistireno extrudido (XPS) é produzido através da fundição dos grânulos de polistireno sem agentes expansores, o que não acontece no EPS. Posteriormente, é injectado um agente, normalmente clorofluorcarbonetos com hidrogénio (HCFCs) e fluorcarbonetos com hidrogénio (HFCs), que permitem a extrusão desse material fundido através de uma fiação, dando-se a expansão do material devido a queda abrupta da pressão. O XPS terá uma estrutura homogénea com células fechadas [11,12]. No sector da construção, as suas propriedades a destacar são a baixa condutividade térmica, baixa densidade e baixa absorção de humidade [10].



Figura 2 - Polistireno expandido [13]



Figura 3 - Polistireno extrudido [14]

1.3.2.Lã de Rocha

Lã de rocha é um material especialmente desenvolvido para o sector da construção, nomeadamente para isolamento acústico e térmico, tendo também como importante propriedade não ser inflamável. A matéria-prima deste produto é rocha vulcânica, a diábase, dolomita, e com menos utilização, o basalto, e para além da rocha vulcânica são utilizadas peças recicladas da produção de lã de rocha. A produção da lã de rocha é feita a partir do aquecimento das matérias-primas até 1400° C, fundindo-os. Gases e pós indesejáveis no processo são eliminados, enquanto a matéria é colocado numa centrifugadora, que transforma a matéria em pequenas gotas, enquanto uma série de rolamentos junta essas gotas e transforma-as em fibras. Essas fibras posteriormente entram num sistema de precipitação da lã de rocha, onde através de um sistema pendular, distribui-se as fibras, de modo a aumentar os espaços a ser preenchidos por ar, o pretendido para obter boas propriedades isolantes. Num processo final a 270° C, junta-se um aglomerante de fibras, de modo a aumentar a densidade da lã de rocha, assim como a temperatura do processo elimina humidade indesejada, sendo posteriormente cortada às dimensões desejadas e embalada [15,16].



Figura 2 - Lã de rocha [17]

1.3.3.Lã de Vidro

O método de produção de lã de vidro é similar ao método de produção de lã de rocha. Neste processo, cacos de vidro, cal, areia de quartzo, dolomita, nefelina, carbonato e borato de sódio, são misturados e fundidos a uma temperatura aproximada de 1400° C. Posteriormente entra numa centrifugadora que transforma a mistura homogénea em fibras, é pulverizado um aglomerante que posteriormente é endurecido num forno a 200° C, dando origem ao aumento de resistência das fibras e da cor amarelada da lã de vidro. As suas características são similares às da lã de rochas, destacando-se a excelente capacidade de isolamento térmico, isolamento acústico e a não-inflamabilidade [18].



Figura 3 - Lã de vidro [18]

1.3.4. Betão com EPS

Este aglomerado é bastante usado na construção de estruturas em que não seja importante a sua resistência mecânica, usando-se mais especificamente como betão de enchimento. Considerado um betão leve, destaca-se pela sua baixa densidade ($1200\text{-}1400\text{ kg/m}^3$) relativamente ao betão normal, o que traz um aligeiramento das estruturas, traduzindo-se numa maior facilidade de manuseamento e também menor pressão sobre as estruturas. O EPS melhora as propriedades térmicas e acústicas do betão, e surge no mercado como blocos pré-fabricados, podendo ainda fazer-se a mistura directamente no local da construção, através da mistura de betão e os grânulos de EPS, com proporções variáveis consoante a densidade pretendida [19,20].



Figura 4 - Betão com grânulos de polistireno expandido [21]

1.3.5. Betão celular autoclavado

O betão celular autoclavado é um produto homogéneo obtido mediante da mistura dos constituintes do betão (água, cimento e inertes) com um agente espumante, como pó de alumínio, peróxido de hidrogénio ou carboneto de cálcio, o que gera bolhas no seio da mistura, transformando o aglomerado numa estrutura celular. Posteriormente, a mistura é

curada num autoclave sob acção de vapor de água, em condições de pressão e temperatura controlados. Em comparação com o betão comum, a estrutura celular melhora as propriedades térmicas e acústicas, devido à presença de bolhas de ar, melhora a resistência ao fogo, assim como diminui a densidade do produto, facilitando o seu manuseamento e corte. Tem a contrapartida de ter um preço acrescido em comparação ao betão comum, e são necessárias ferramentas e mão-de-obra especializada [22,23,24].



Figura 5 - Exemplo de betão celular autoclavado [25]

2

Noções gerais de acústica e térmica

A Acústica é o ramo da física que se dedica ao estudo e análise do som, como ele se transmite, propaga, gera, recebe e como se mede o mesmo. O som propaga-se sob a forma de ondas esféricas num meio, que influencia a sua propagação. O centro das esferas refere-se à fonte sonora, e é neste ponto que se dá uma alteração de pressão, que provoca uma vibração no meio, que uma vez estimulado, propaga esse estímulo até à fonte receptora, como por exemplo, o ouvido. Caso esta vibração encontre significado no cérebro, ou se for agradável de se ouvir, considera-se estar na presença de Som, caso contrário, se não for identificado significado ou for desagradável de se ouvir, considera-se estar na presença de Ruído.

A variação de pressões a que se assiste na produção de ondas sonoras é referenciada para a pressão atmosférica normal do nosso planeta, que tem um valor aproximado de 101 400 Pascal. Para se sentir uma alteração na pressão sonora, a pressão exercida terá de ser superior ao valor da pressão atmosférica.

No entanto, a pressão não é a única grandeza importante na análise da propagação sonora. A intensidade e a potência sonoras são conceitos igualmente importantes na análise da propagação do som. A intensidade sonora é, numa dada direcção, a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de 1 m^2 , quantificado em watt por metro quadrado (W/m^2). A potência sonora é uma característica da fonte e descreve-se como sendo a energia total que num segundo atravessa a esfera fictícia de raio qualquer, centrada na fonte, quantificada em watt (W).

O valor mínimo da variação de pressão, referente à pressão atmosférica, que um ser humano com óptimas condições auditivas pode ouvir é cerca de 10^{-5} Pa , denominado limiar da audição. No extremo do valor máximo da variação de pressão, do qual o ruído passa a dor situa-se nos 100 Pa. Como a gama de audibilidade humana conduz a valores muito distantes entre o mínimo e máximo, adoptou-se outra unidade, de forma a adaptar à sensibilidade humana, denominado decibel (dB). Esta unidade pode ser adoptada sempre que se deseje estimar o nível de alguma quantidade de pressão sonora a um valor de referência (figura 8). Obtém-se os valores a partir da seguinte expressão:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

Em que L_p é o nível de pressão sonora (dB), p a pressão sonora exercida e p_0 a pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa.

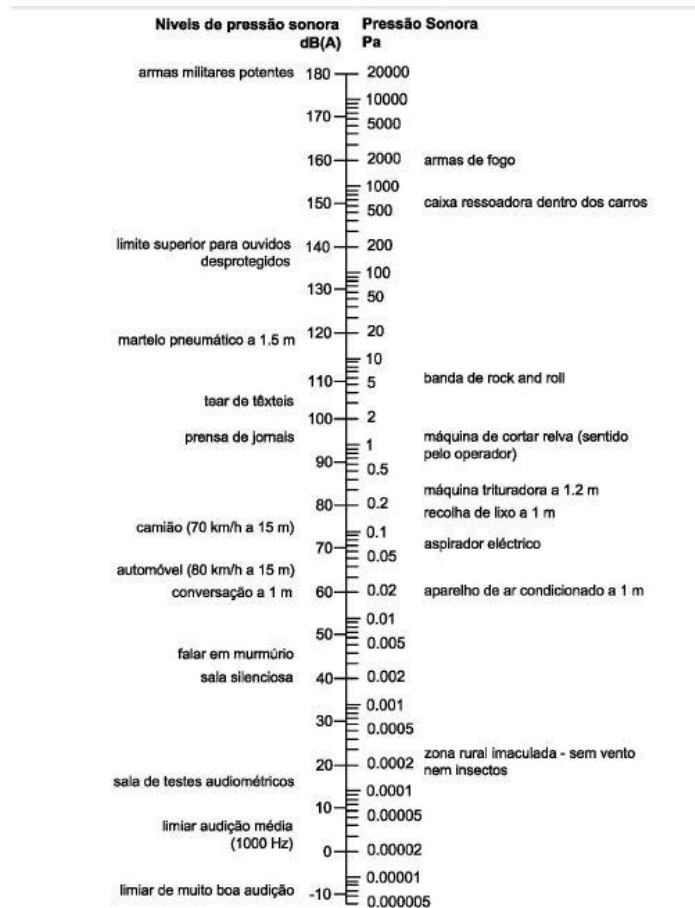


Figura 8 - Pressão e níveis de pressão sonora correspondentes [26]

Existe outra característica importante para a descrição de um sinal sonoro, que é a frequência. Esta grandeza mede-se em hertz (Hz) e designa o número de ciclos completos da onda sonora que têm lugar por segundo. Na audição humana, distingue-se três grandes gamas de frequências:

Frequências graves: 20 a 355 Hz;

Frequências médias: 355 a 1 410 Hz;

Frequências agudas: 1 410 a 20 000 Hz.

Como a análise por frequência se torna muito abrangente, divide-se os ruídos em bandas de frequência, que correspondem a intervalos de certa dimensão normalizada, facilitando assim a sua melhor análise [4,26].

2.1.Ensaio Acústicos

Grande parte do estudo das propriedades dos materiais da DOFcork foi realizado no âmbito das propriedades acústicas, mais precisamente, isolamento a sons de percussão e isolamento a sons de condução aérea. Para melhor compreensão do tema de isolamento acústico, explicarei seguidamente, em mais pormenor, em que consiste cada uma das propriedades e como se obtém o valor dessas propriedades através de ensaios.

2.1.1.Isolamento sonoro a sons de percussão

O ruído de impacto é originado nos elementos que formam a estrutura e a envolvente dos edifícios, por vibrações provocadas directamente por pessoas ou objectos actuando sobre os elementos do edifício. As fontes mais comuns deste tipo de ruído são a locomoção humana, a vibração de equipamentos e a queda de objectos. O ruído é transportado pelos elementos em vibração e é transmitido aos compartimentos adjacentes por radiação de paredes e pavimentos. Este ruído de impacto é medido em laboratório segundo a norma NP EN ISO 717-2, utilizando uma máquina de percussão normalizada, que induz um regime permanente de vibração no pavimento do compartimento emissor. O objetivo final deste ensaio é obter para vários materiais, o valor do índice de redução sonora para os sons de percussão ΔL_w . Define-se ΔL_w como a diferença entre o índice de isolamento a sons de percussão de um pavimento de referência, sem e com revestimento aplicado (neste caso, as placas de cortiPAN e corkROLL seriam o revestimento), obtido de acordo com a norma, sendo expresso em decibéis. O cálculo do índice de redução sonora a sons de percussão deve ser efectuado segundo as expressões:

$$L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L$$

$$\begin{aligned}\Delta L_w &= L_{n,r,0,w} - L_{n,r,w} \\ &= 78 \text{ dB} - L_{n,r,w}\end{aligned}$$

Onde:

$L_{n,r}$ é o nível de pressão sonora, normalizado, devido à excitação de impacto, calculado para o pavimento de referência com o revestimento em ensaio;

$L_{n,r,0}$ é o nível de pressão sonora, referenciado na norma, devido à excitação de impacto, definido para o pavimento de referência;

ΔL é a redução do nível de pressão sonora, normalizado, devido à excitação de impacto, medida de acordo com a ISO 140-8;

$L_{n,r,w}$ é o nível de pressão sonora para o pavimento de referência com o revestimento de piso em ensaio, sendo um valor médio relativo aos valores de ΔL obtidos (tabela 1) ;

$L_{n,r,0,w}$ é obtido a partir de $L_{n,r,0}$ em conformidade com o disposto na norma, neste caso, 78 dB.

Existem ainda outros valores a ter em conta, apresentados seguidamente, que são obtidos directamente do ensaio, e, com os cálculos definidos na norma ISO 140-8, obter-se-á o valor de ΔL_w , em decibéis, classificando o material em termos de isolamento a sons de percussão.

TR é o tempo de reverberação associado à câmara de ensaio, expresso em segundos;

L_0 é a média do nível de pressão sonora na câmara de ensaio, sem o revestimento de piso, em decibéis, e é calculado da seguinte forma:

$$L_0 = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right)$$

Em que L_j corresponde aos níveis de pressão sonora medidos, sendo n o número de posições em que foi medido os níveis de pressão sonora na câmara receptora.

L_i é a média do nível de pressão sonora na câmara de ensaio, com o revestimento de piso, em decibéis, e é calculado da mesma maneira que L_0 ;

L_n é o valor normalizado das médias do nível de pressão sonora na câmara de ensaio, expresso em decibéis, calculado através da equação:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_o}$$

Em que L_i corresponde às médias calculadas anteriormente, com e sem revestimento de piso, A corresponde à área de absorção da câmara receptora e A_o é área de absorção referenciada (10 m²);

ΔL é a diferença dos valores das médias normalizadas, L_{n0} e L_{n1} , expresso em decibéis. Este é o valor que vai permitir saber qual a capacidade de redução de sons de percussão dos materiais a ensaiar. Quanto maior o ΔL , melhor a capacidade de isolamento do material [27,28].

2.1.2. Isolamento sonoro a sons de condução aérea

Os sons aéreos são originados pela excitação direta do ar, decorrente de fontes sonoras no exterior ou interior de edifícios. Estes sons ou ruído propagam-se pelo ar e podem ser transmitidos através dos elementos de construção, como paredes, janelas ou portas. A diferença entre a potência sonora incidente no elemento de separação e a potência sonora no lado recetor dará origem ao cálculo do isolamento a sons aéreos. A potência sonora que interfere na estrutura pode ser transmitida diretamente ou pode radiar pelas estruturas adjacentes, a denominada transmissão marginal [29].

O isolamento sonoro a sons aéreos pode ser medido com testes laboratoriais ou *in situ*, e de modo a ter resultados válidos, haveria a necessidade de seguir estritamente a norma ISO 140-3:1995, *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurement of airborne sound insulation of building elements*. Na impossibilidade de se realizar os ensaios normalizados, executou-se da forma mais aproximada possível, de modo a obter resultados que permitissem retirar algumas conclusões sobre os materiais a ensaiar.

A norma NP EN ISO 717-1 é a norma com o procedimento para conversão de valores de índices de redução sonora por banda de frequência num único índice normalizado, denominado R_w , em dB. Os índices obtidos com o disposto na norma, destinam-se a caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea, de elementos de construção e em edifícios, e a simplificar a formulação dos requisitos acústicos dos edifícios. Os valores de R obtidos nos ensaios são comparados com as curvas de referência da norma, neste caso, para as bandas de frequências de um terço de oitava (tabela 2). Para avaliar o índice de isolamento sonoro a partir das medições obtidas, ajusta-se a curva de referência, por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores medidos, de modo que a soma dos desvios favoráveis seja a maior possível, mas não superior a 32 dB. Um desvio desfavorável, numa determinada banda de frequências, é aquele que ocorre quando o valor medido é inferior ao valor de referência. Apenas devem ser tidos em conta os desvios desfavoráveis. O valor final, expresso em decibéis, da ordenada da curva de referência correspondente à banda de frequências de 500 Hz, após o ajuste realizado de acordo com o procedimento descrito, corresponde ao índice de isolamento sonoro R_w [29].

Outra propriedade importante na caracterização acústica de um material é o coeficiente de absorção sonora. Esta característica define-se como sendo a propriedade que os materiais possuem capaz de transformar parte da energia sonora que sobre eles incide em outra forma de energia, como, por exemplo, energia térmica. Segundo a norma, esta propriedade está definida como absorção sonora de um meio como sendo a redução da potência sonora por dissipação resultante da propagação do som nesse meio. Depende do tipo de superfícies, do ângulo de incidência do som, da frequência da onda e das condições de aplicação do sistema do qual o material é constituinte. Designa-se por α (alfa) a relação entre a quantidade de

energia sonora que é dissipada ou absorvida por determinado material e aquela que sobre esse material incide. Esta relação é quantificada de 0 a 1, o que simboliza que um material que possua um coeficiente de absorção sonora de 0,5 absorve 50% da energia que sobre ele incide. Torna-se como uma propriedade sobre qual se podem ser classificados os materiais, sendo que materiais com coeficientes superiores a 0,5 são considerados absorventes [4].

2.2. Propriedades Térmicas

De modo a comparar diversos materiais mais efetivamente, como é o principal objetivo desta Dissertação, também seria importante compara-los não só em termos de propriedades acústicas, mas também propriedades térmicas.

A transmissão de calor não é mais do que a transmissão de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperaturas entre elas. A transmissão de calor têm três formas distintas de acontecer: transmissão por condução, que é a passagem de calor de uma para outra região no mesmo corpo, ou em corpos diferentes que estejam em contacto; transmissão por radiação, que é a emissão de energia da superfície de um corpo sob a forma de ondas electromagnéticas; e transmissão por convecção, que é a passagem de calor de uma zona para outra de um fluído em consequência do movimento relativo das partículas desse mesmo fluído.

O gradiente de temperatura ao longo de uma substância homogénea origina um fluxo de energia por condução. No caso de uma parede plana, cuja superfície interna e externa é constituída pelo mesmo material, o fluxo de transferência de calor é dado por:

$$q = \frac{k}{L} A (T_{SI} - T_{SE})$$

onde k é o coeficiente de condutividade térmica do material ($\frac{W}{m.K}$, em unidades SI), L a espessura da parede e $(T_{SI} - T_{SE})$ a diferença de temperatura entre a superfície mais quente e a mais fria.

A propriedade térmica mais utilizada para classificação de materiais de construção é a condutividade térmica. Depende da natureza do material, sendo elevado para bons condutores, como os metais, e baixo para isolantes térmicos. É igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área desse material, por unidade de diferença de temperatura entre as duas faces do material [30].

2.3. Síntese bibliográfica das propriedades da cortiça e produtos concorrentes

Como parte inicial do trabalho de Dissertação, procedeu-se à investigação e análise de propriedades térmicas e acústicas de vários materiais concorrentes aos aglomerados de cortiça da DOFcork. A investigação centrou-se mais nessas propriedades pois são as mais importantes nas aplicações dadas aos aglomerados. Em seguida, são concentradas em tabela as propriedades dos respectivos materiais, de modo a facilitar a comparação entre materiais e se analisar que ensaios executar posteriormente.

Produtos a analisar	Condutividade Térmica (W/m ² C°)	Reacção ao fogo (classe)	Arde?
CortiPAN	0,045-0,049 ^[I]	E ^[I]	Sim
Aglomerado Negro	0,04-0,065 ^[III]	E	-
EPS	0,037-0,055 ^[III]	E	Sim
XPS	0,035-0,045 ^[III]	E	Sim
Lã de rocha	0,032-0,045 ^[III]	A1 ^[IV]	Não
Lã de vidro	0,031-0,043 ^[III]	A1 ^[IV]	Não

Tabela 1 - Propriedades Térmicas do cortiPAN e produtos concorrentes

Fonte: [I] - Catálogo DOFcork; [II] - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (2006) - LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil); [III] - Catálogo Knauf Insulation; [IV] - Catálogo IZOCAM.

Produtos a Analisar	Coeficiente Absorção	Nível de redução dB (ΔL_w)
CortiPAN	0,2-0,55 ^[V]	17 ^[V]
Aglomerado negro	-	-
EPS	0,44-0,5 ^{[V]/[VI]}	30 ^[V]
XPS	-	-
Lã de rocha	0,9 ^[V]	-
Lã de vidro	0,55-1 ^[V]	-

Tabela 2 - Propriedades acústicas do cortiPAN e produtos concorrentes

Fonte: [V] - Asdrubali, F., *Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control*, in *Euronoise 2006*: Tampere, Finland; [VI] - Catálogo Vicoustic.

Produtos a Analisar	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)	Condutividade Térmica (W/m°C)	Peso Específico (kg/m³)
corkGRAN	0,48-0,95 ^[I]	0,18-0,54 ^[I]	0,14-0,17 ^[I]	100-200 ^[I]
Betão	13,3-30 ^[VII]	3-5 ^[VIII]	1,65-2,0 ^[III]	2,3e3-2,6e3 ^[VII]
Betão+EPS	3-6 ^[IX]	-	0,18-0,28 ^[III]	1200-1400 ^[IX]
Betão celular autoclavado	1,2-1,87 ^[VII]	-	0,07-0,27 ^[III]	400-900 ^[VII]

Tabela 3 - Propriedades mecânicas e térmicas do corkGRAN e produtos concorrentes

Fontes: [VII] - Base de dados CES EduPack 2012; [VIII] - www.engineeringtoolbox.com, acesso em Maio de 2013; [IX] - M.Haimana, M.R., J.Krolob, Lj.Hercegb, V.Čalogovićb, *EPS concrete composite structures - Lab testing and FEA modelling*, Faculty of Civil Engineering University of Zagreb

Na tabela 1, referente às propriedades térmicas, é possível compreender que o cortiPAN tem resultados similares ao aglomerado negro mais usado na construção, sendo que alguns tipos de aglomerado negro poderão ter maiores valores de condutividade térmica. Tanto as lãs de rocha e vidro como os poliestirenos têm valores de condutividade térmica mais baixos que os aglomerados de cortiça, embora as lãs levem vantagem sobre os poliestirenos por não arderem, classificando-os como classe A1 (a classe mais alta) na reação ao fogo.

Na tabela 2, referente às propriedades acústicas, todos os materiais à exceção da lã de rocha têm valores de coeficiente de absorção sonora similares, aproximadamente 0,5. As diferentes espessuras de material afetam o coeficiente de absorção sonora, como será possível perceber nos posteriores ensaios de isolamento a sons de percussão. Apesar de o cortiPAN ter valores inferiores a alguns materiais da concorrência, não necessariamente se afirma que é um mau absorvente sonoro, pois valores de 0,5 e superiores em termos de coeficiente de absorção sonora classificam o material como absorvente.

Na tabela 3, referente às propriedades do corkGRAN e produtos concorrentes, o corkGRAN perde em termos de propriedades mecânicas, tanto em resistência à compressão e à flexão. No entanto, obtém uma vantagem na condutividade térmica e na densidade, sendo que na condutividade térmica só o betão com EPS tem valores similares, e na densidade apenas o betão celular autoclavado tem valores similares. Os valores do corkGRAN dependem diretamente da mistura, sendo que diferentes quantidades de cimento ou diferentes distribuições do tamanho de grão de cortiça levam a resultados diferenciados.

Produtos a analisar	Preços
Aglomerado Negro	4-36 € /m ² [X]
EPS	0,50-15 € /m ² [X]
XPS	6-20 € /m ² [XI]
Lã de Vidro	15-30 € /m ² [XII]
Lã de Rocha	2-27 € /m ² [X]
Betão	85-100 € /m ³ (com aplicação) ^[XI]
Betão Autoclavado	20-66 € /m ² [X]
Betão com EPS	50-60 € /m ³ (só EPS) ^[XIII]

Tabela 4 - Preços aproximados dos produtos concorrentes

Fontes: [X] - www.sotecnisol.pt/materiais/consultas, acedido em Outubro de 2013; [XI] - orçamentos.eu, acedido em Outubro de 2013; [XII] - www.insulationshop.co/glass_wool_insulation, acedido em Outubro de 2013; [XIII] - www.majodir.com, acedido em Outubro de 2013.

Na tabela 4 são apresentados os preços aproximados de alguns produtos concorrentes dos produtos da empresa DOFcork. No caso do betão, o preço apresentado é o preço de toda a aplicação do betão, incluindo mão-de-obra, e no caso do betão com EPS, o preço apresentado é da quantidade de EPS necessária para produzir 1 m³ de betão com EPS, não constando no preço apresentado o preço dos outros materiais necessários na sua produção.

Os preços apresentados são apenas alguns exemplos e gamas alargadas, pois os preços diferem de produtor para produtor, e também diferem de região para região. Em termos gerais, é possível identificar que os poliestirenos terão uma ligeira vantagem em relação aos aglomerados negros e lãs de rocha e vidro, no que diz respeito a materiais concorrentes em aplicações de isolamento de interiores. Nos betões, a comparação ainda é mais dificultada, pois depende das misturas usadas por cada empresa, consoante as quantidades de EPS ou cortiça usadas, os preços diferem consideravelmente.

3

Materiais e Métodos

3.1. Aglomerados de cortiça DOFcork

Sendo o objetivo principal encontrar uma posição no mercado de materiais de isolamento acústico e térmico para os produtos da DOFcork, os materiais a ser alvo de estudo foram os produtos comercializados pela empresa, o cortiPAN, corkROLL e corkGRAN.

O cortiPAN, demonstrado na figura 9, é um aglomerado de cortiça expandida com composto aglomerante, uma resina de poliuretano Biocol BO 414 D, que com a humidade e a temperatura associado ao processo de fabrico do cortiPAN, polimeriza e agrega os grânulos de cortiça. São placas com 1x0,5 m de dimensão, com 2 e 5 cm de espessura, e a granulometria da cortiça usado foi de 2-14 mm, em que a cortiça corresponde a cerca de 99% da composição.



Figura 9 - Amostra de cortiPAN

O corkROLL, na figura 10, é um aglomerado similar ao cortiPAN em termos estruturais, sendo um aglomerado de cortiça com aglomerante. Este produto é significativamente mais fino que o anteriormente referido, e é enrolado no final do processo, facilitando o empacotamento e expedição. No corkROLL a cortiça corresponde a 91% da composição, as dimensões são cerca de 1 m², com espessuras de 2 e 8 mm e a granulometria entre 0,5 e 5 mm.



Figura 10 - Amostra de corkROLL

O corkGRAN é um aglomerado de cortiça e betão. A composição foi variada consoante o tamanho dos grânulos de cortiça. Com os grânulos de granulometria 2-14 mm, a composição do aglomerado é 1 parte de cimento, 2 partes de areia e 8 partes de cortiça. Com os grânulos de granulometria 2-5 mm, a composição é 1 parte de cimento com 4 partes de cortiça, sem usar areia. Para todas as amostras, a relação de água/cimento é aproximadamente 0,8. Estas amostras tinham dimensões de 20x20 cm, com uma espessura de cerca de 5 cm [3]. O corkGRAN, ao contrário dos outros produtos que são produzidos na linha de produção da fábrica, foram produzidos manualmente com a mistura dos componentes anteriormente referidos. Posteriormente foram colocados em calhas com as dimensões anteriormente referidas (figura 4) a secar durante mais de catorze horas, como exemplificado na figura 11, à temperatura ambiente, de modo a ganhar consistência suficiente para poder ser manuseada.



Figura 11 - CorkGRAN 2-14mm inserido nas calhas que permite formar as peças quadradas



Figura 12 - Peças de corkGRAN 2-14mm em secagem à temperatura ambiente



Figura 13 - Pormenor da peça de corkGRAN 2-5mm



Figura 14 - CorkGRAN 2-5mm em secagem

3.2. Ensaio de isolamento a sons de percussão

Como nas propriedades acústicas os aglomerados de cortiça têm melhores resultados em relação à concorrência do que noutro tipo de propriedades, decidiu-se explorar mais ensaios e propriedades acústicas que pudessem valorizar o produto. Para tal, procedeu-se à execução de ensaios de isolamento sonoro a sons de percussão com o cortiPAN, corkROLL e uma peça de XPS, de modo a servir de comparação, pois foi executado no mesmo ambiente e sobre as mesmas condições dos aglomerados de cortiça. Os ensaios foram executados no Departamento de Engenharia Civil, com o apoio dos Núcleos de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Acústica (NI&DEA), numa câmara superior (figura 15 e 16), com uma área de superfície aproximadamente 10 m². As amostras foram submetidas a ensaio, colocadas sobre a superfície da câmara, com um aparelho que produz som de percussão sobre as mesmas (figura 17), uma máquina de percussão *Brüel & Kjær 207*. Numa câmara exatamente sob a anterior câmara, capta-se a intensidade do som que atravessa a amostra e o tecto da câmara. A diferença destes valores obtidos com e sem amostra mostrará o valor de ΔL_w do material.



Figura 15 - Câmara superior



Figura 16 - Câmara superior com aparelho de percussão



Figura 17 - Aparelho de percussão

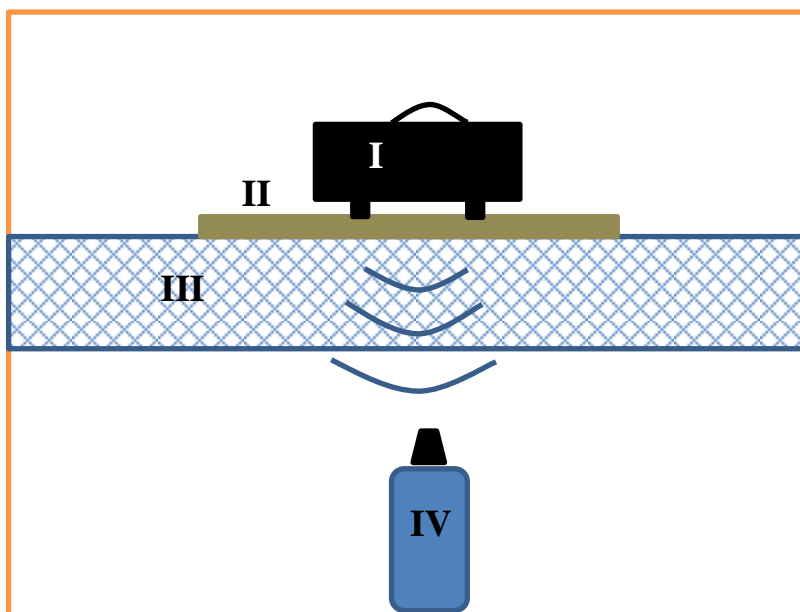


Figura 18 - Esquema do ensaio de isolamento a sons de percussão: I - Máquina de percussão; II - Material a ensaiar; III - Superfície de divisão entre a câmara superior e inferior; IV - sonómetro

3.3. Ensaio de isolamento a sons de condução aérea

Nos ensaios de isolamento a sons de percussão anteriormente executados, os produtos que foram ensaiados foram o cortiPAN e o corkROLL, que têm aplicações em que o isolamento a sons de percussão é mais prioritário. Para o corkGRAN, aglomerado de cortiça e betão, a sua aplicação em superfícies implica que, em termos acústicos, seja mais relevante o seu isolamento a sons de condução aérea. Os ensaios de isolamento a sons aéreos foram executados de forma aproximada à norma, visto não ser exequível fazê-los de forma normalizada. Os ensaios foram executados no equipamento *ACUSTILAB* (figura 19), do Departamento de Engenharia Civil, onde o NI&DEA tem executado inúmeros ensaios relativos a propriedades acústicas. O *ACUSTILAB* é uma câmara reverberante dupla para fins educacionais, de reduzidas dimensões: 1,5 x 3,5 x 1,4 m³. É usada para estudos de tempos de reverberação e, no caso deste ensaio, no estudo de isolamento sonoro. O *ACUSTILAB* contém uma divisão das câmaras móvel que permite a fixação dos materiais a testar. Uma laje de betão colocada por cima a cobrir todo o equipamento permite isolar o máximo possível as câmaras reverberantes de sons exteriores ao *ACUSTILAB*. Contudo, devido a fenómenos de transmissões marginais abaixo dos 315 Hz, e de fugas a frequências superiores a 3150 Hz, só esse intervalo é considerado significativo para análise de resultados [29,31].

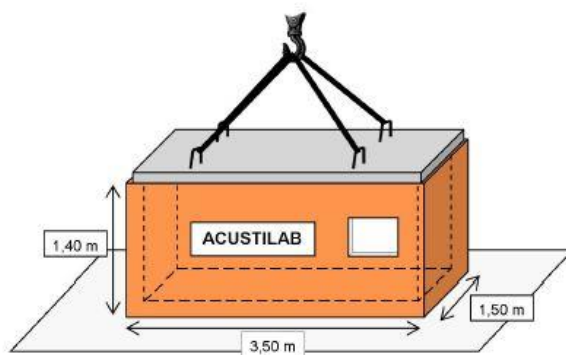


Figura 19 - Desenho esquemático do *ACUSTILAB* [29]



Figura 20 - Interior do ACUSTILAB

Para a execução destes ensaios, montaram-se duas paredes feitas com os blocos de corkGRAN anteriormente fabricados, uma parede 1 com os blocos de corkGRAN 2-14 mm (com grânulos de cortiça entre 2 e 14 mm), e uma parede 2 com os blocos de corkGRAN 2-5 mm (figuras 21 a 23), com 38 a 40 blocos com 20 x 20 x 5 cm de dimensão.



Figura 21 - Início da montagem da parede com corkGRAN 2-5 mm



Figura 22 - Parede 2 montada mas com fissuras nesta fase

Para a obtenção de melhores resultados, foi necessário cobrir todas as fissuras que poderiam existir na parede. Usou-se cimento-cola, silicone e espuma de modo a selar completamente uma câmara reverberante da outra. Como é evidente na figura 22, nesta altura ainda existiam muitas fissuras na parede. Com os produtos anteriormente referidos, foi possível melhorar o isolamento da parede, como se evidencia na figura 23.



Figura 23 - Parede 2 completamente isolada

Posteriormente, colocou-se uma fonte transmissora de som (figura 26), uma coluna marca *JBL*, numa das câmaras. O som é captado do outro lado da parede através de um dispositivo que mede o valor de decibéis naquela câmara (figura 24), denominado sonómetro, um *Solo 01 dB*. O índice de redução sonora R_w corresponderá ao calculado associado à diferença de decibéis entre uma câmara e outra, traduzindo-se na capacidade da parede absorver o som.



Figura 24 - Sonómetro conetado ao microfone que regista os valores de décibéis



Figura 25 - Microfone recetor de som



Figura 26 - Fonte transmissora de som

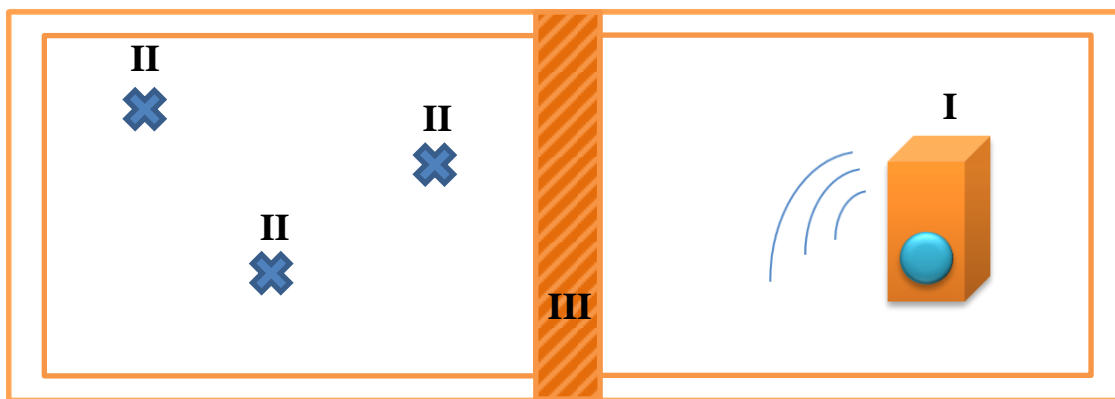


Figura 27 - Esquema do interior do ACUSTILAB, onde estão identificados como; I - a fonte transmissora de som; II - as posições do microfone receptor; III - a parede de ensaio

O microfone foi colocado nas posições indicadas na figura 27 de modo a uniformizar os resultados da captação de som, evitando que algum defeito localizado pontualmente na parede de ensaio afetasse o resultado final.

3.4. Determinação da Massa Volúmica Aparente

Posteriormente aos ensaios acústicos realizados aos aglomerados de cortiça, a determinação da massa volúmica aparente e da absorção de humidade tornaram-se propriedades úteis para investigar e testar.

A massa volúmica aparente corresponde à massa de um corpo por unidade de volume aparente desse corpo, expressa em quilogramas por metro cúbico [2]. Para tal, executou-se o ensaios para 6 amostras de cada um dos tipos de aglomerado de cortiça, o cortiPAN de 5 cm de espessura, o corkROLL de 2 mm e de 8 mm de espessura, com as dimensões o mais aproximadas possível às medidas indicadas na norma NP 2372, sobre ensaios a aglomerados compostos de cortiça. As medidas apresentadas foram 100 x 50 mm, apenas variando a espessura para cada tipo de amostra. Com o auxílio de um paquímetro eletrónico, determinou-se o comprimento e a largura das amostras, registando os valores em milímetros. A massa volúmica aparente é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{m}{l \times b \times d} \times 10^6$$

Em que m corresponde à massa da amostra, em gramas, arredondada à décima; l corresponde ao comprimento da amostra, em milímetros, arredondado à unidade; b corresponde à largura da amostra, em milímetros, arredondado à unidade; d corresponde à espessura da amostra, em milímetros, arredondado à décima. A massa volúmica aparente irá corresponder à média dos resultados obtidos para cada provete, apresentado em quilogramas por metro cúbico, e arredondado à unidade.

3.5. Teor de absorção de humidade

O teor de humidade é determinado pela quantidade de água por unidade de massa seca, geralmente apresentado por:

$$H (\%) = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100$$

Em que M_f corresponde à massa da amostra no final do ensaio e M_i a massa inicial da amostra. O valor do teor de humidade é apresentado em percentagem [7]. Neste ensaio, mediu-se o peso numa balança eletrónica de 2 amostras de cada tipo de aglomerado de cortiça (figura 28-29), num total de 6 amostras, e posteriormente acondicionaram-se as amostras num aquário selado (figura 30-31), em que foi produzido um nevoeiro, saturando o ar com vapor de água, sendo que as amostras ficaram 48 horas nesse ambiente. No final das 48 horas, voltou-se a medir o peso das amostras, arredondado às centésimas.



Figura 28 - Amostras de corkROLL para ensaios de determinação da massa volúmica aparente e absorção de humidade



Figura 29 - Amostras de cortiPAN para ensaios de determinação massa volúmica aparente e absorção de humidade



Figura 30 - Aquário com nevoeiro artificial para ensaio de absorção de humidade



Figura 31 - Aquário com nevoeiro artificial e as amostras a serem testadas

4

Resultados e Discussão

4.1. Ensaio de isolamento a sons de percussão

Por ensaio, foram feitos oito registos. Efetuou-se o cálculo das médias energéticas dos ensaios, e juntamente com os valores anteriormente referidos sobre os ensaios de isolamento a sons de percussão, obtém-se os seguintes valores:

cortiPAN - 2 cm de espessura

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L_0 (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
$Ln.0$ (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L_i (dB)	63,0	70,5	70,5	72,5	71,9	66,3	63,4	54,0	47,2	45,8	40,6	37,8	33,3	28,8	22,7	14,7	9,9	8,7
L_n (dB)	57,6	65,5	65,2	68,1	67,2	61,5	58,7	49,8	43,4	42,6	38,0	35,6	31,6	27,6	22,2	14,8	10,9	10,6
ΔL (dB)	0,0	0,6	3,4	2,9	10,5	12,6	17,7	29,0	33,7	35,2	38,5	43,0	46,1	50,6	55,1	61,3	63,2	60,9
$Ln.r.0$ (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
$Ln.r$ (dB)	67,0	66,9	64,6	65,6	58,5	56,9	52,3	41,5	37,3	36,3	33,5	29,0	25,9	21,4	16,9	10,7	8,8	11,1
$Ln.r.0.w$ (dB)	78,0																	
$Ln.r.w$ (dB)	57,0																	
ΔL_w (dB)	21,0																	

Tabela 5 - ΔL_w do cortiPAN de 2 cm de espessura

cortiPAN - 5 cm de espessura

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	60,2	71,6	69,2	67,7	68,1	61,7	61,1	58,2	53,5	46,7	37,5	29,7	22,1	15,8	10,3	7,6	6,5	7,0
L _n (dB)	54,9	66,6	63,9	63,3	63,4	56,9	56,4	53,9	49,7	43,5	34,9	27,4	20,4	14,6	9,8	7,6	7,5	8,8
ΔL (dB)	0,6	0,0	4,7	7,7	14,3	17,2	20,0	24,8	27,4	34,3	41,6	51,1	57,3	63,6	67,5	68,4	66,6	62,6
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	66,4	67,5	63,3	60,8	54,7	52,3	50,0	45,7	43,6	37,2	30,4	20,9	14,7	8,4	4,5	3,6	5,4	9,4
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	55,4																	
ΔL _w (dB)	22,6																	

Tabela 6 - ΔL_w do cortiPAN de 5 cm de espessura

corkROLL - 2 mm de espessura

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	62,2	70,3	72,2	75,5	75,4	72,7	75,4	73,0	68,5	61,5	55,7	53,7	46,8	34,5	26,3	18,8	12,7	9,8
L _n (dB)	56,8	65,3	66,9	71,1	70,7	67,9	70,7	68,8	64,7	58,3	53,0	51,4	45,1	33,4	25,7	18,8	13,7	11,6
ΔL (dB)	0,0	0,8	1,7	0,0	7,0	6,2	5,7	10,0	12,4	19,5	23,4	27,1	32,6	44,9	51,5	57,2	60,4	59,8
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,7	66,3	68,5	62,0	63,3	64,3	60,5	58,6	52,0	48,6	44,9	39,4	27,1	20,5	14,8	11,6	12,2
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	60,0																	
ΔL _w (dB)	18,0																	

Tabela 7 - ΔL_w do corkROLL de 2 mm de espessura

corkROLL - 8 mm de espessura

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	61,4	70,2	71,0	74,7	73,7	69,4	68,7	62,7	49,9	46,9	43,0	33,4	28,4	17,0	14,7	12,3	10,1	8,4
L _n (dB)	56,1	65,2	65,7	70,3	69,1	64,6	64,1	58,4	46,1	43,7	40,3	31,2	26,7	15,8	14,1	12,4	11,1	10,3
ΔL (dB)	0,0	0,9	2,9	0,7	8,7	9,5	12,4	20,3	31,0	34,1	36,1	47,4	51,0	62,4	63,1	63,7	63,0	61,2
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,6	65,1	67,8	60,3	60,0	57,6	50,2	40,0	37,4	35,9	24,6	21,0	9,6	8,9	8,3	9,0	10,8
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	58,0																	
ΔL _w (dB)	20,0																	

Tabela 8 - ΔL_w do corkROLL de 8 mm de espessura

XPS - 7 cm de espessura

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	62,2	70,1	71,3	73,5	73,3	68,0	65,4	59,1	56,4	49,6	45,8	47,3	46,4	37,1	26,6	17,5	11,7	9,1
L _n (dB)	56,9	65,1	66,0	69,1	68,7	63,2	60,7	54,9	52,6	46,4	43,2	45,1	44,7	36,0	26,0	17,5	12,7	11,0
ΔL (dB)	0,0	1,0	2,6	1,9	9,1	10,9	15,7	23,9	24,5	31,4	33,3	33,5	33,0	42,3	51,2	58,5	61,4	60,5
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,5	65,4	66,6	59,9	58,6	54,3	46,6	46,5	40,1	38,7	38,5	39,0	29,7	20,8	13,5	10,6	11,5
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	57,0																	
ΔL _w (dB)	21,0																	

Tabela 9 - ΔL_w do XPS de 7 cm de espessura

Através dos valores de ΔL_w é possível perceber melhor a influência direta da espessura nesse valor, sendo que com o aumento da espessura do produto, melhora a sua capacidade de isolar sons de percussão. Para tal capacidade, o material que apresenta melhores resultados é o cortiPAN de 5 cm de espessura, com um valor de ΔL_w de 22,6 dB. É ainda importante destacar a proximidade de valores do corkROLL de 8 mm de espessura e o XPS de 7 cm de espessura. É notório que os aglomerados de cortiça têm melhores propriedades acústicas que os poliestirenos extrudidos, sendo que consegue apresentar valores de isolamento a sons de percussão similares ao XPS com uma espessura dez vezes menor. Isto é um aspeto a ter em

conta quando se fala de materiais que são maioritariamente usados como isolamento colocados no interior de superfícies. O gráfico 1 permite identificar esquematicamente os valores obtidos nos ensaios de isolamento a sons de percussão de todos os materiais.

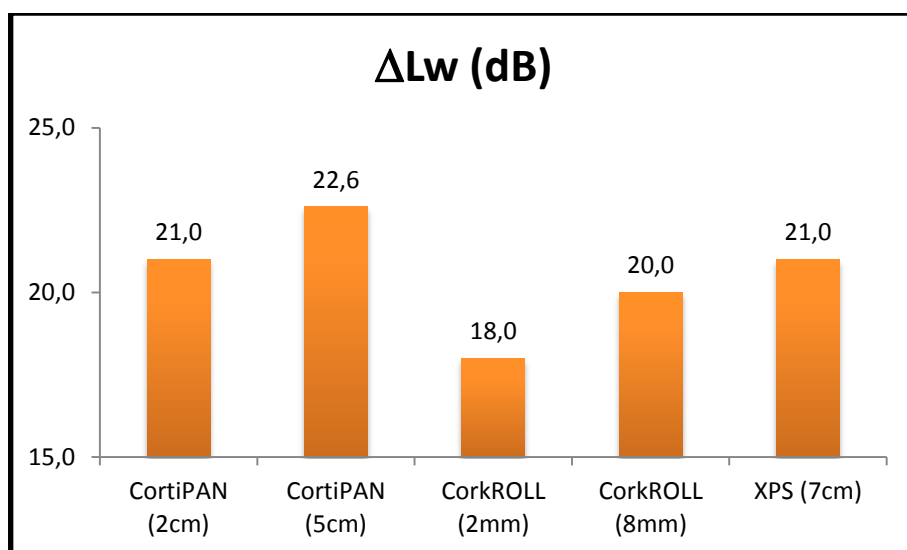


Gráfico 1 - Comparação de resultados dos ensaios de percussão

4.2. Ensaios de isolamento a sons de condução aérea

Após o ensaio, e através dos registos efetuados, fez-se os cálculos, como referido anteriormente sobre os ensaios de isolamento a sons de condução aérea, para se obter os gráficos de redução sonora, como serão apresentados a seguir, juntamente com a curva dos valores de referência da norma:

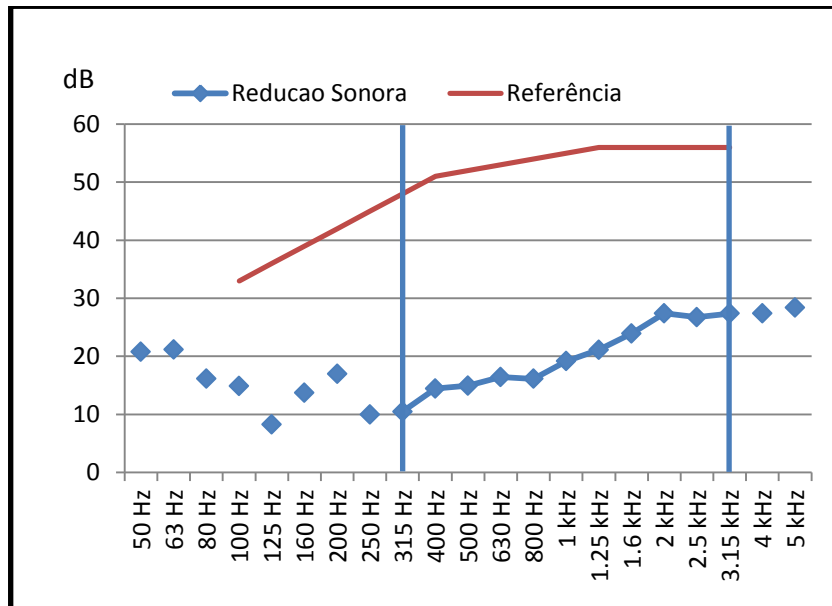


Gráfico 2 - Redução sonora para a parede 1

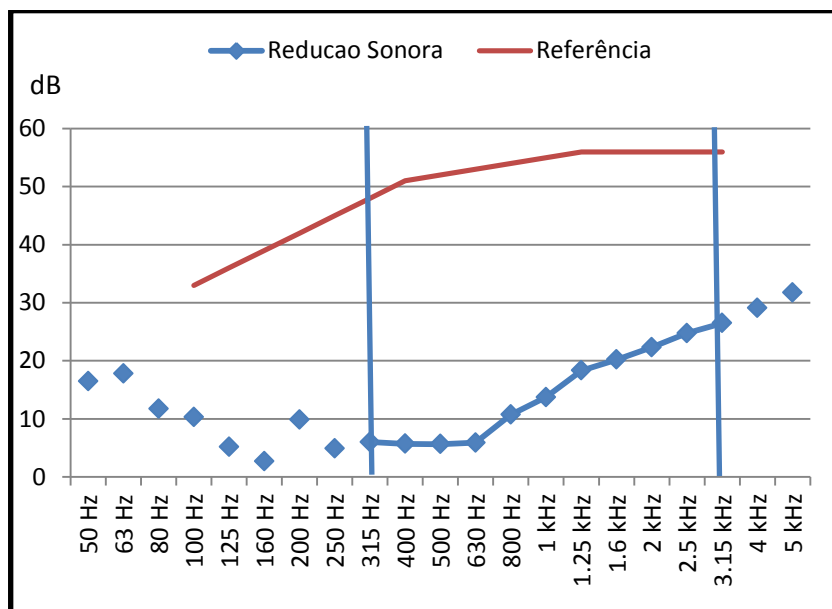


Gráfico 3 - Redução sonora para a parede 2

As linhas verticais representam o limite de valores significativos para análise no equipamento *ACUSTILAB*. O valor de índice de isolamento sonoro R_w é obtido através da identificação do valor da redução para 500 Hz. Para a parede 1, no gráfico 2, o valor de R_w é 14,9 dB. Para a parede 2, no gráfico 3, o valor de R_w é 5,66 dB. Com estes resultados é possível concluir que um tamanho de grão superior da cortiça contribui para um maior valor de R_w , consequentemente, uma maior redução sonora. Os valores de índice de isolamento sonoro para estas duas paredes são baixos, quando comparado com outros materiais de construção, como tijolo ou mesmo betão celular autoclavado, aproximadamente 40 dB [31]. É preciso levar em condição que este ensaio não foi normalizado, sendo que de modo normalizado, as paredes teriam outro tipo de construção e composição, com lajes de gesso ou cimento nas superfícies da parede de corkGRAN. Esse tipo de ensaio normalizado, com condições mais rigorosas e amostras de maiores dimensões como referidas na norma, poderia demonstrar mais concretamente a capacidade de isolamento a sons aéreos de que o corkGRAN dispõe.

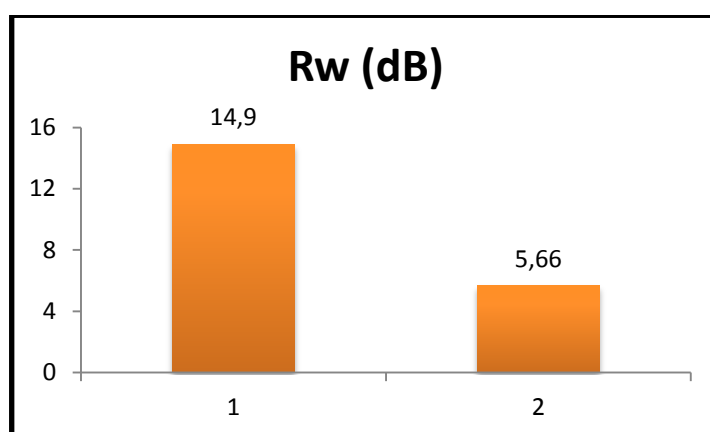


Gráfico 4 - Comparação de valores entre parede 1 e 2

O gráfico 4 pretende resumir e comparar os valores obtidos dos ensaios, onde é possível identificar a diferença de valores entre as duas paredes de ensaio, quando se muda o tamanho dos grânulos de cortiça usados na produção das mesmas

4.3. Determinação de massa volúmica aparente

Posteriormente aos ensaios acústicos, procedeu-se ao corte das amostras para a determinação da massa volúmica aparente. Os resultados foram os seguintes:

L (mm)	b (mm)	d (mm)	m (g)	MVA (kg/m ³)
101	50	2,2	1,9	174,0251
102	50	2,3	2,0	174,9708
101	50	2,3	1,9	164,3195
101	50	2,3	1,9	165,2233
101	49	2,3	1,9	164,2751
100	51	2,2	2,0	175,5176
MVA (média) = 170				
Desvio Padrão (σ) = 5,63				

Tabela 10 - Massa volúmica aparente do corkROLL de 2mm

L (mm)	b (mm)	d (mm)	m (g)	MVA (kg/m ³)
98	53	8,2	7,2	170,3604
101	51	8,3	7,4	172,4217
100	50	8,3	7,8	188,0612
101	50	8,2	8,0	193,9605
100	50	8,3	7,8	188,7426
102	49	8,3	7,6	185,2586
MVA (média) = 183				
Desvio Padrão (σ) = 9,54				

Tabela 11 - Massa volúmica aparente do corkROLL de 8 mm

b (mm)	d (mm)	m (g)	MVA (kg/m ³)
47	49,6	31,7	141,3155
46	50,2	33,3	150,4743
47	49,7	32,0	140,9615
47	49,7	32,7	145,0234
46	49,9	30,0	133,0742
48	50,2	30,8	130,6181
MVA (média) = 140			
Desvio Padrão (σ) = 7,39			

Tabela 12 - Massa volúmica aparente do cortiPAN de 5 cm

A massa volúmica aparente indicada para aglomerados de cortiça para aplicações acústicas e térmicas é entre 100 e 140 kg/m³, sendo que estes valores são ligeiramente superiores nas amostras de corkROLL. Quando o valores de massa volúmica aparente são superiores a 140 kg/m³, os aglomerados são mais úteis em aplicações anti-vibráticas, onde se pretende aglomerados com densidades superiores [4]. No cortiPAN de 5 cm, como os grãos de cortiça que o formam são superiores aos grãos usados no corkROLL, traduz-se numa massa volúmica aparente mais reduzida, devido ao maior volume de ar presente na estrutura. No caso do corkROLL, é de notar que o aumento de espessura faz aumentar também a massa volúmica aparente do aglomerado.

4.4. Teor de absorção de humidade

Os valores obtidos para este ensaio ao fim de 48 horas foram os seguintes:

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	H (%)	Desvio Padrão (σ)
corkROLL 2 mm				0,64
1	1,93	2,08	7,8	
2	2,04	2,18	6,9	
corkROLL 8 mm				0,59
3	7,79	8,39	7,7	
4	8,01	8,56	6,9	
cortiPAN 5 cm				0,10
5	30,10	31,40	4,3	
6	30,90	32,19	4,2	

Tabela 13 - Teor de absorção de humidade ao fim de 48 horas

Não foi possível obter valores de teor de humidade na bibliografia, mas é conhecido que valores de absorção de humidade por capilaridade são próximos de 9%, o que é superior aos valores obtidos neste ensaio [4]. A absorção de humidade é importante na modificação das propriedades acústicas e térmicas destes aglomerados, sendo que o aumento de humidade, aumenta a condução térmica e acústica, o que prejudica a sua capacidade de isolamento. As conclusões deste ensaio prende-se na influência do tamanho de grão dos aglomerados. O tamanho destes grãos é significativamente maior no cortiPAN de 5 cm, podendo ir até 14 mm, o que traduz em valores de absorção de humidade inferior ao corkROLL, em que o tamanho de grão varia entre 2 e 5 mm. A espessura não influenciou os valores, visto que tanto com 2 e 8 mm de espessura, os valores de absorção de humidade são entre 7% e 8%.

5

Conclusões

A presente dissertação teve como objetivo o estudo das propriedades dos produtos da DOFcork, principalmente a nível das propriedades acústicas, visto serem as propriedades em que os aglomerados de cortiça obtêm mais vantagem em relação à maioria dos produtos da concorrência.

Um estudo inicial sobre os aglomerados de cortiça e os materiais concorrentes permitiu constatar em quais das propriedades os aglomerados estão em melhor posição de entre os materiais de isolamento usados na construção. Sobre a pesquisa, permitiu constatar que as propriedades térmicas dos aglomerados não são vantajosas em relação à concorrência, sendo que propriedades acústicas revelam-se mais vantajosas.

Posteriormente executaram-se dois tipos de ensaios acústicos, ensaio de isolamento a sons de percussão e isolamento a sons de condução aérea, este último para os aglomerados de cortiça com betão. Após os ensaios denota-se a melhor capacidade de absorção de sons de percussão, em relação a outros materiais como o poliestireno expandido. Nos ensaios de isolamento a sons de percussão, o aumento de espessura dos produtos DOFcork permite melhorar a capacidade de isolamento. Nos ensaios de isolamento a sons de condução aérea denota-se que o corkGRAN é um produto com propriedades interessantes a nível de isolamento. Embora o ensaio não tenha sido efetuado de acordo com a norma, permitiu analisar que o crescimento do tamanho de grânulos de cortiça origina melhores resultados de isolamento. No entanto, o aumento dos grânulos da cortiça fazem aumentar a fragilidade das peças, sendo que limita o seu uso a aplicações sem exigências mecânicas.

Os procedimentos que permitiram obter a massa volúmica aparente e o teor de absorção de humidade permitiram obter novas informações sobre os aglomerados de cortiça da empresa. O maior tamanho de grão de cortiça nos aglomerados confere uma menor massa volúmica aparente e menor absorção de humidade.

5.1.Desenvolvimentos futuros

De futuro seria importante estudar com mais detalhe o isolamento a sons aéreos do produto corkGRAN, executando-se ensaios normalizados. A utilização dos grânulos soltos em contrapartida aos aglomerados com aglomerante parece ser uma boa solução, visto serem mais versáteis em termos de tamanho de grão e poder originar várias composições.

Estudos recentes têm despertado a atenção para novas utilizações dos granulados de cortiça. A utilização do pó de cortiça nas superfícies de placas de fibra de madeira poderá ser uma boa utilização para aplicações de isolamento a sons de percussão. Juntar grãos de cortiça com maiores dimensões (5 a 15 mm) no interior de portas de madeira, melhoraria o desempenho isolante da mesma, a nível acústico e térmico. A colocação de grãos no interior de paredes ocas ou divisórias de diferentes salas poderão melhorar a capacidade isolante da divisão, pois junta as propriedades da parede oca e as propriedades isolantes dos grãos de cortiça, sem nunca preencher por completo esses espaços, sendo que o ar contido na estrutura celular da cortiça é o que permite à cortiça obter a sua boa capacidade isolante.

Empresas nacionais têm desenvolvido nos últimos anos placas de gesso laminado com placas de aglomerado de cortiça expandida. Este produto junta as melhores características, sendo que melhora consideravelmente o comportamento acústico. Tem vindo a ser mais usado na reabilitação de habitações devido ao aumento de eficiência energética que estes produtos oferecem, é um material que suporta todo o tipo de revestimentos, como tinta ou papel de parede, ecológico, durável e de fácil e rápida aplicação [32].

Referências Bibliográficas

- [1] APCOR, *Cortiça - 2012*, 2012, Associação Portuguesa da Cortiça: Santa Maria de Lamas.
- [2] Costa, M.d.L.B.d., *Caracterização das Propriedades Físicas, Mecânicas e Térmicas de Betões com Incorporação de Cortiça*, in *Departamento de Engenharia Civil* 2011, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra: Coimbra.
- [3] DOFcork, *Catalogue 2013*, 2013: Argoncilhe, Portugal.
- [4] L. Gil, "Capítulo 13 - Cortiça" in *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, ISTPress, Lisboa, p. 664-715.
- [5] Maio, D.J.D., *Desenvolvimento de "tinta" com pó de cortiça com desempenho acústico otimizado*, in *Departamento de Engenharia Civil* 2010, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto.
- [6] APCOR, *Cortiça. Cultura, Natureza, Futuro.*, 2010, Associação Portuguesa de Cortiça. p. 7.
- [7] Pereira, H., Chapter 13 - Cork agglomerates and composites, in *Cork*. 2007, Elsevier Science B.V.: Amsterdam. p. 289-303.
- [8] Panesar, D.K. and B. Shindman, The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork. *Cement and Concrete Composites*, 2012. 34(9): p. 982-992.
- [9] Apontamentos da cadeira Materiais Poliméricos, Aula 6 (2010) Mestrado Integrado de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [10] www.eps.co.uk/pdfs/eps_and_the_environment.pdf (Acedido em Junho de 2013)
- [11] Zhang, C., B. Zhu, and L.J. Lee, Extrusion foaming of polystyrene/carbon particles using carbon dioxide and water as co-blowing agents. *Polymer*, 2011. 52(8): p. 1847-1855.
- [12] www.exiba.org (Acedido em Junho de 2013)
- [13] www.archiexpo.com (Acedido em Outubro de 2013)
- [14] www.building-dow.com (Acedido em Outubro de 2013)
- [15] www.knaufinsulation.gr (Acedido em Junho de 2013)

- [16] Hild, F., et al., Three-dimensional analysis of a compression test on stone wool. *Acta Materialia*, 2009. 57(11): p. 3310-3320.
- [17] www.rockwool.com (Acedido em Outubro de 2013)
- [18] www.sager.ch (Acedido em Junho de 2013)
- [19] M.Haimana, M.R., J.Krolob, Lj.Hercegb, V.Čalogovićb, *EPS concrete composite structures - Lab testing and FEA modelling*, Faculty of Civil Engineering University of Zagreb.
- [20] Park, S.G. and D.H. Chisholm, *Polystyrene Aggregate Concrete*, 1999, Building Research Levy.
- [21] www.lehighhansoncanada.com (Acedido em Outubro de 2013)
- [22] Narayanan, N. and K. Ramamurthy, *Structure and properties of aerated concrete: a review*. ELSEVIER, 2000. 22(Cement & Concrete Composites): p. 321-329.
- [23] SOTECNISOL Engenharia, *Betão Celular - Ficha Técnica*.
- [24] QUERCUS, *Blocos de betão celular autoclavado*.
- [25] www.understanding-cement.com (Acedido em Outubro de 2013)
- [26] Bies, David A., Hansen, Colin H., *Engineering Noise Control - Theory and Practice* 4th Edition. Spon Press, 2009.
- [27] Ferreira, A.R.P.C., *Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação*, 2007, Universidade Técnica de Lisboa.
- [28] Branco, F.G. and L. Godinho, On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission. *Construction and Building Materials*, 2013. 45(0): p. 184-191.
- [29] Coutinho, A.Á.R.d.S., *Evaluation of the Sound Insulation of Liquid-Filled Panels*, 2008, Universidade do Porto: Faculdade de Engenharia.
- [30] *Condutividade Térmica*, 2008: Departamento de Física, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [31] Rodrigues, R. M. C. and A. P. O. Carvalho (2002). "The ACUSTILAB: A Small Educational Double Reverberant Chamber". 4th AECEF International Symposium (Association of European Civil Engineering Faculties) Environmental Aspects in Civil Engineering Education. FEUP, Porto - Portugal.
- [32] GYPTEC - *Nova Placa de Gesso com Isolamento em Cortiça*, 2012, Grupo Preceram

Anexo

Especificações técnicas dos produtos DOFcork

cortiPAN - 98,5% de grânulos de cortiça, 2-14 mm de granulometria + 1,5% adesivo [sem solventes e sem presença de ureia-formaldeído]

Corte	Serra circular ou rebarbadora
Densidade standard	170 kg/m ³ (± 5%)
Dimensões standard	1000 x 500 mm (± 1 mm)
Espessuras standard	10, 20, 30, 40, 50 e 60 mm (± 1 mm)
Embalagem	Plastificada Paletes com 120 x 100 cm

Tabela A.1 - Especificações técnicas do cortiPAN

	Resultado	Norma
Reação ao fogo	Euroclass E	(EN 11925-2:2002) (EN 13501-1 + A1:2009)
Condutividade térmica	0,050 W/m°C	(EN 12667) (EN ISO 10456)
Resistência térmica	0,392 m ² .°C/W (20 mm) / 1,176 m ² .°C/W (60 mm)	(EN 12667:2001)
Coeficiente de absorção sonora	Classe E (20 mm) / Classe D (60 mm)	(EN ISO 20354) (EN ISO 11654)
Resistência à compressão	> 180 kPa	(NP EN 826:1996)
Resistência à flexão	> 120 kPa	(NP EN 12089:1997)

Tabela A.2 - Especificações técnicas do cortiPAN

corkROLL - 91% granulado de cortiça + 9% adesivo [sem solventes e isento de ureia formaldeído]

Corte	Canivete ou x-ato
Densidade standard	200 kg/m ³ - 250 kg/m ³
Dimensões standard	Largura: 1 m 1,25 m Comprimento: 10 - 33,3 m
Espessuras standard	2, 3, 4, 5, 6, 8 mm

Tabela A.3 - Especificações técnicas do corkROLL

corkGRAN (Para Betão Leve) - 8 partes de grânulo de cortiça (2 - 14); 2 partes de areia; 1-1,5 partes de cimento

	Resultado	Norma
Resistência à compressão	0,48 - 0,95 MPa	LNEC E226
Resistência à tração	0,18 - 0,54 MPa	LNEC E227
Condutividade térmica	0,14 - 0,17 W/m ^o .C	ISSO 8301.1991

Tabela A.3 - Especificações técnicas do corkGRAN

Boletins de Ensaio de Percussão

Sem amostra

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Registo 01	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83	80,9	81	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76	73,1	69,6
Registo 02	63,2	73,9	74	74,7	80	80	83,8	81,7	81,2	81,7	79,2	81,2	80,1	79,8	78,2	76,5	73,3	70
Registo 03	62,4	72	71,2	73,8	79,6	78,7	81,8	81,6	80,1	81,2	78,7	80,9	79,9	79,6	78,3	76,1	73,5	70,2
Registo 04	61,9	72,6	75,1	74,7	79,7	78	81,2	81,3	81,5	81,2	79,5	81,2	80	79,5	78	76,2	73,2	69,7
Registo 05	62,6	72,7	74,1	73,8	81,3	79,2	80,7	80,9	81,3	81	79,5	80,3	80,1	79,6	78,1	75,8	73,1	69,3
Registo 06	63,9	77,3	75,4	74,2	80,2	79,5	82,1	80	81,3	81,5	80	80,3	79,9	79,4	77,9	75,8	73,3	69,7
Registo 07	64,1	72,9	72	74,6	80,1	77,4	81,3	82,3	81,6	80,7	80	80,4	79,9	79,6	78	76,3	73,5	69,6
Registo 08	62,6	71,5	73	75,3	80,6	77,9	82,7	82,5	81,2	81,3	79,6	80,7	80,1	79,3	78	75,8	73,1	69,5
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Média (dB)	62,79971	73,45921	73,78823	74,59961	80,5836	78,77779	81,94745	81,84496	81,15859	81,2098	79,46969	80,73877	79,93026	79,52753	78,04008	76,06944	73,26538	69,70814

CortiPAN 2 cm

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Registo 01	62,5	70,3	71,3	72,3	74	66,9	62,1	54,5	46,8	46	40	38,2	34,2	29,8	23,9	15,3	11,3	10,5
Registo 02	63	73	70,5	71,9	71,6	66,8	63	53,6	48	46,4	40,5	37,3	34,4	29,9	23,8	14,9	8,6	7,9
Registo 03	63	68,6	69,3	72,7	71,7	65,5	64	54	47,9	47,1	40,5	37,8	34,6	30	23,8	15,3	7,5	6,9
Registo 04	60,3	70,1	70,4	71,4	70,8	65	62,9	53,8	48,7	46,3	40,6	37,9	34,5	29,8	24,2	14,9	8,8	8,3
Registo 05	62,2	68,9	71,2	73,4	72	66,6	64	53,9	46,4	44,9	40,8	37,8	31,7	27,4	21,8	16,9	13,6	12,3
Registo 06	66,5	70,9	71,3	72,8	71,2	66,2	63,7	54,2	46,2	45,1	40,9	37,8	32	27	21,1	13,2	8,2	6,5
Registo 07	61,7	67,9	69,7	73,7	71,4	65,9	64,1	54,1	46,5	45,1	40,4	38,2	31,7	27,5	20,7	13,2	9,2	6,9
Registo 08	61,5	72	69,7	71,6	71,5	66,8	62,9	53,7	46,2	44,8	41,2	37,7	31,4	27,5	20,4	12,6	7,9	6,5
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Média (dB)	62,97169	70,52238	70,48846	72,5444	71,88041	66,25966	63,38834	53,98365	47,18546	45,78679	40,62557	37,84576	33,27625	28,79571	22,71721	14,74463	9,886837	8,740369

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	63,0	70,5	70,5	72,5	71,9	66,3	63,4	54,0	47,2	45,8	40,6	37,8	33,3	28,8	22,7	14,7	9,9	8,7
L _n (dB)	57,6	65,5	65,2	68,1	67,2	61,5	58,7	49,8	43,4	42,6	38,0	35,6	31,6	27,6	22,2	14,8	10,9	10,6
ΔL (dB)	0,0	0,6	3,4	2,9	10,5	12,6	17,7	29,0	33,7	35,2	38,5	43,0	46,1	50,6	55,1	61,3	63,2	60,9
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,9	64,6	65,6	58,5	56,9	52,3	41,5	37,3	36,3	33,5	29,0	25,9	21,4	16,9	10,7	8,8	11,1
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	57,0																	
ΔL _w (dB)	21,0																	

CortiPAN 5 cm

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Registo 01	58,8	67,8	68,8	66,5	70,1	62,5	60,9	59,5	54	47	38,6	29,9	20,7	15,7	9,9	7,1	6,3	6,9
Registo 02	59,3	72,8	70,8	66,4	69	64	63,7	59,1	54,2	48,3	38,9	30,2	21,4	16,7	10,5	7,6	7	7,7
Registo 03	60,8	69,3	66,3	67,5	68,1	62,9	63,8	59,4	54,9	47,7	39,2	29,8	21,1	16,1	10,6	7,2	6,9	7,2
Registo 04	59,8	69,9	68,1	66,9	68,5	63,1	62,8	59,5	54,2	48,1	39,2	30,1	21,8	15,5	10,2	8,3	6,1	7
Registo 05	58,9	69,2	69	68,8	68,3	59,2	56,3	57,1	52	45,2	35,6	29,5	22,9	15,3	9,1	7,6	6,5	6,9
Registo 06	61,3	71,2	72,1	68,3	66,9	59,6	58,8	56,3	52,3	45,5	35,5	29,5	22,9	15,4	9,4	7,4	6,5	6,7
Registo 07	61,9	68	66,8	69,2	66,3	59,3	57,7	56,3	52,8	45,2	35	29,2	22,8	15	9	7,2	6,2	6,8
Registo 08	59,9	76,6	68,7	67,2	65,8	59,2	57,7	56,1	52,2	45	35,1	29	22,8	16,2	12,7	8,2	6,7	6,7
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Média (dB)	60,22131	71,6466	69,20981	67,71454	68,08198	61,65408	61,07279	58,16216	53,45151	46,7037	37,52233	29,66801	22,13109	15,76937	10,3316	7,59637	6,535619	6,998915

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	60,2	71,6	69,2	67,7	68,1	61,7	61,1	58,2	53,5	46,7	37,5	29,7	22,1	15,8	10,3	7,6	6,5	7,0
L _n (dB)	54,9	66,6	63,9	63,3	63,4	56,9	56,4	53,9	49,7	43,5	34,9	27,4	20,4	14,6	9,8	7,6	7,5	8,8
ΔL (dB)	0,6	0,0	4,7	7,7	14,3	17,2	20,0	24,8	27,4	34,3	41,6	51,1	57,3	63,6	67,5	68,4	66,6	62,6
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	66,4	67,5	63,3	60,8	54,7	52,3	50,0	45,7	43,6	37,2	30,4	20,9	14,7	8,4	4,5	3,6	5,4	9,4
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	55,4																	
ΔL _w (dB)	22,6																	

CorkROLL 2 mm

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Registo 01	59,9	71,4	71,7	76,1	77	71,8	75	73,6	68	62,1	55,6	53,3	47,5	34,5	26,6	20	13,6	10,1
Registo 02	63,5	71,8	72,6	74,9	75,8	72,5	76,3	72,9	68,5	61,9	56,1	54	47,9	35,2	26,9	20,3	13,9	10,1
Registo 03	62,4	69,9	70,7	75,7	74,8	73,9	75,7	73,2	69,1	62,2	56,3	54,5	47,4	35,3	27,4	19,7	12,6	9,1
Registo 04	61,9	70,5	72,5	75,1	75,8	73,2	75,8	73,8	69,2	62,5	56,7	54,2	47,8	35,4	27,2	19,8	14,3	12,9
Registo 05	61,5	70	72	76,2	74,7	72,4	74,5	72,9	68,6	60,3	54	52,7	45,4	32,7	24,7	16,9	11,5	9,7
Registo 06	64,3	69,8	73,8	73,1	74,7	72	75,6	71,6	67	60,7	55,2	53,2	45,6	33,9	25,7	17,8	13,9	9,2
Registo 07	60,2	70	72,5	75,8	74,4	73,3	75,2	72,8	68,3	60,9	55,5	53,7	46	33,9	25,6	17,2	9,4	6,9
Registo 08	61,8	68,4	71,2	76,4	75,1	71,9	74,8	72,8	68,7	61	55,5	53,4	45,7	34,6	25,4	16,9	10	7,6
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Média (dB)	62,16408	70,33425	72,21813	75,51646	75,36688	72,685	75,39793	72,99263	68,47149	61,5168	55,6772	53,66	46,77891	34,51806	26,28093	18,79862	12,72857	9,799748

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	62,2	70,3	72,2	75,5	75,4	72,7	75,4	73,0	68,5	61,5	55,7	53,7	46,8	34,5	26,3	18,8	12,7	9,8
L _n (dB)	56,8	65,3	66,9	71,1	70,7	67,9	70,7	68,8	64,7	58,3	53,0	51,4	45,1	33,4	25,7	18,8	13,7	11,6
ΔL (dB)	0,0	0,8	1,7	0,0	7,0	6,2	5,7	10,0	12,4	19,5	23,4	27,1	32,6	44,9	51,5	57,2	60,4	59,8
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,7	66,3	68,5	62,0	63,3	64,3	60,5	58,6	52,0	48,6	44,9	39,4	27,1	20,5	14,8	11,6	12,2
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	60,0																	
ΔL _w (dB)	18,0																	

CorkROLL 8 mm

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Registo 01	60,9	66,9	69,8	74,9	74,4	69	69,3	64,4	51,3	45,7	43,4	32,6	29	15,4	14,2	11,9	8,6	7,4
Registo 02	60,5	71	71,4	73,9	73,3	68,9	69,2	63,1	49,7	46,4	43	32,3	28,9	15,9	15	12,4	10,6	8,6
Registo 03	61,6	68,1	72,2	76,2	72,6	70,3	69,1	63,3	50,8	47	43,5	32,6	29,2	17,5	15,3	13,7	11,5	10,5
Registo 04	57,5	72,6	71,8	74,3	73,9	69,6	68,8	63,1	50	46,4	42,9	33	28,6	17,3	15,4	13,2	11	8,1
Registo 05	61,7	66,6	69,8	73,8	74,5	69	68,3	62,7	50,1	46,8	43,1	34	28	17,3	14,3	12,3	10,6	8,6
Registo 06	64,4	72,1	70,3	73,8	73,9	70	68,6	61,2	49	47,7	43,1	34	27,7	16,8	14,1	11,3	8,6	7,6
Registo 07	62	71,9	71,9	75,7	73	68,8	68,6	61,1	49,1	47,5	42,6	34,1	28	16,7	13,9	11,5	9,1	7,5
Registo 08	59,9	67,4	69,8	74,7	73,8	69,1	67,9	61,3	48,6	47,3	41,8	34,3	27,7	18,4	14,8	11,8	9,9	8,4
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Média (dB)	61,444	70,2074	70,98594	74,74753	73,71848	69,37006	68,74761	62,66973	49,91191	46,89376	42,95246	33,42882	28,42483	17,00096	14,65846	12,33423	10,11079	8,447643

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	61,4	70,2	71,0	74,7	73,7	69,4	68,7	62,7	49,9	46,9	43,0	33,4	28,4	17,0	14,7	12,3	10,1	8,4
L _n (dB)	56,1	65,2	65,7	70,3	69,1	64,6	64,1	58,4	46,1	43,7	40,3	31,2	26,7	15,8	14,1	12,4	11,1	10,3
ΔL (dB)	0,0	0,9	2,9	0,7	8,7	9,5	12,4	20,3	31,0	34,1	36,1	47,4	51,0	62,4	63,1	63,7	63,0	61,2
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,6	65,1	67,8	60,3	60,0	57,6	50,2	40,0	37,4	35,9	24,6	21,0	9,6	8,9	8,3	9,0	10,8
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	58,0																	
ΔL _w (dB)	20,0																	

XPS 7 cm

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Registo 01	63,5	69,9	70,6	72,8	74,1	68,7	66,4	58,6	57,1	49,9	45,7	47,1	45,4	37,9	26,4	20,1	16,9	15
Registo 02	63,7	70,8	72,5	72,8	73,3	69,2	66,9	57,8	56,2	49,5	45,4	46,3	45,2	37,7	25,4	16,5	9,7	6,8
Registo 03	62,3	69,2	71,2	74,2	73	68,1	65,8	58,1	55,9	48,8	44,5	45,8	44,3	37,1	25,1	16,6	9,7	6,5
Registo 04	59,9	71	72,5	73,6	72,8	68,6	65,8	58,7	55,4	48,6	44,2	45,1	44	37,5	25,3	18,3	10,6	7,4
Registo 05	57	69	71,9	73,4	75	67,1	63,8	60,3	56,9	50,5	47,2	49,2	48,3	37,1	28,2	17,7	11,2	7,6
Registo 06	63,6	71,8	70,9	72,7	72,5	67,9	64,8	59,4	56,6	50	46,9	48,7	47,7	37	27,4	16,7	9,6	6,9
Registo 07	63,7	70	69,7	73,9	72,3	67,2	64,5	58,9	56,7	49,8	46,1	47,5	47,1	36,3	27,3	16,5	9,1	6,4
Registo 08	60	68	70,1	74,2	72,9	66,9	64,3	60,4	56,4	49,6	45,7	47,4	47	36	26,3	15,9	9	6,3
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Média (dB)	62,23843	70,11202	71,28666	73,48959	73,32381	68,03389	65,40884	59,11768	56,43037	49,62637	45,82154	47,33215	46,38138	37,11742	26,55563	17,49684	11,66943	9,141743

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
TR (s)	12,0	11,2	12,0	9,7	10,3	10,6	10,3	9,3	8,4	7,4	6,5	5,9	5,2	4,6	4,0	3,5	2,8	2,3
L ₀ (dB)	60,8	71,1	73,9	75,4	82,4	78,9	81,1	83,0	80,9	81,0	79,1	80,8	79,4	79,4	77,8	76,0	73,1	69,6
Ln.0 (dB)	55,5	66,1	68,6	71,0	77,7	74,1	76,4	78,8	77,1	77,8	76,4	78,6	77,7	78,2	77,2	76,0	74,1	71,4
L _i (dB)	62,2	70,1	71,3	73,5	73,3	68,0	65,4	59,1	56,4	49,6	45,8	47,3	46,4	37,1	26,6	17,5	11,7	9,1
L _n (dB)	56,9	65,1	66,0	69,1	68,7	63,2	60,7	54,9	52,6	46,4	43,2	45,1	44,7	36,0	26,0	17,5	12,7	11,0
ΔL (dB)	0,0	1,0	2,6	1,9	9,1	10,9	15,7	23,9	24,5	31,4	33,3	33,5	33,0	42,3	51,2	58,5	61,4	60,5
Ln.r.0 (dB)	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,5	71,0	71,5	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
Ln.r (dB)	67,0	66,5	65,4	66,6	59,9	58,6	54,3	46,6	46,5	40,1	38,7	38,5	39,0	29,7	20,8	13,5	10,6	11,5
Ln.r.0.w (dB)	78,0																	
Ln.r.w (dB)	57,0																	
ΔL _w (dB)	21,0																	